



TESIS - RC142501

PENILAIAN STABILITAS TIMBUNAN DAN POTENSI KEBOCORAN LINDI AKIBAT PENGARUH SEISMIK DI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR NGIPIK, GRESIK

SITI NURLITA FITRI
NRP. 03111650010005

DOSEN PEMBIMBING :
Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TESIS - RC142501

PENILAIAN STABILITAS TIMBUNAN DAN POTENSI KEBOCORAN LINDI AKIBAT PENGARUH SEISMIK DI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR NGIPIK, GRESIK

SITI NURLITA FITRI
NRP. 03111650010005

DOSEN PEMBIMBING :
Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN GEOTEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL LINGKUNGAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - RC142501

ASSESSMENT TO SLOPE STABILITY AND LEACHATE LEAKAGE DUE TO SEISMIC EFFECT ON NGIPIK LANDFILL, GRESIK

SITI NURLITA FITRI
03111650010005

SUPERVISOR :
Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si., M.Si

POST GRADUATE PROGRAM
MASTER PROGRAM OF GEOTECHNIC
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, ENVIROMENT AND GEOSCINCE
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBERI
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

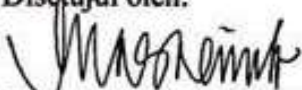
Siti Nurlita Fitri

NRP. 03111650010005

Tanggal Ujian : 29 Maret 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

- 
1. **Dr. Ir. Ria A. A. Soemitro, M.Eng.** (Pembimbing I)
NIP. 195601191986012001
 2. **Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si** (Pembimbing II)
NIP. 197601232000031 001
 3. **Prof. Ir. Noor Endah, M.Sc., Ph.D.** (Penguji)
NIP. 195107081976032001
 4. **Dr. Yudhi Lastiasih, S.T., M.T** (Penguji)
NIP. 197701222005012002



Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dekan,


IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 19750212 199903 2001

PENILAIAN STABILITAS TIMBUNAN DAN POTENSI KEBOCORAN LINDI AKIBAT PENGARUH SEISMIK DI TEMPAT PEMBUANGAN AKHIR NGIPIK, GRESIK

Nama Mahasiswa : Siti Nurlita Fitri
NRP : 03111650010005
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng
2. Dr. Dwa Desa Warnana, M.Sc

ABSTRAK

TPA Ngipik di Gresik terletak di beberapa lajur sesar aktif di Jawa Timur, sehingga besar kemungkinan wilayah ini terjadi gempa bumi. TPA ini tidak mempunyai sistem pengolahan sampah yang baik dan timbunan sampah sudah mencapai ketinggian 12 dan 10 m, sehingga perlu adanya suatu penelitian tentang potensi kerusakan apabila terjadinya gempa.

Data primer pada penelitian ini didapatkan melalui pengujian fisis dan mekanis pada 3 titik bore, pengukuran mikrotremor dengan metode HVSR dilakukan dengan membagi area menjadi grid dengan jarak per 25m untuk mendapatkan efek tapak lokal akibat gempa. Dilakukan pemodelan dengan Plaxis untuk mengetahui nilai *shear strain* dari tanah dasar dibawah timbunan dan Geoslope untuk mengetahui nilai *safety factor* dari lereng timbunan sampah. Untuk mengantisipasi potensi kerusakan akibat gempa, dilakukan pemodelan dengan merubah tanah dasar dengan parameter *clay liner* yang diatur oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) dalam tiga kondisi, yaitu merubah tanah dasar disekitar timbunan setebal 1m, 2m dan merubah seluruh tanah dasar dibawah timbunan setebal 2m.

Dari hasil penelitian didapatkan tanah dasar berupa lempung-lanau dengan ketebalan sedimen berkisar 42-136 m, nilai indeks kerentanan tanah 2.5 - 28, dan nilai shear strain sebesar 10^{-3} - 10^{-2} untuk $PGA = 0.2g$. Nilai shear strain terbesar dari hasil Plaxis dan analisis mikrotremor terdapat pada area Timur-Tenggara dan Barat laut penelitian. Nilai shear strain yang tinggi merepresentasikan potensi kerusakan yang lebih besar saat terjadinya gempa. Nilai shear strain hasil plaxis lebih dapat diandalkan dengan perbedaan sebesar 55% dari pengukuran mikrotremor. Nilai SF eksisting pada saat kondisi gempa berkisar 0.57 -0.91. Penggunaan *clay liner* setebal 1m dan 2m mengakibatkan penurunan shear strain masing-masing sebesar 2 - 19% dan 17 - 33% dan peningkatan *safety factor* masing-masing sebesar 1-15% dan 2-18% dari kondisi eksisting saat terjadinya gempa. Apabila diganti secara keseluruhan dibawah timbunan setebal 2m menyebabkan penurunan shear strain sebesar 23-40% dan peningkatan *safety factor* 4-27% dari kondisi eksisting ketika terjadi gempa.

Kata kunci : Tempat pembuangan akhir, Mikrotremor, HVSR, *Shear strain*, Ngipik, Gresik.

ASSESSMENT TO SLOPE STABILITY AND LEACHATE LEAKAGE DUE TO SEISMIC EFFECT ON NGIPIK LANDFILL, GRESIK

Name : Siti Nurlita Fitri
NRP : 03111650010005
Supervisor : 1. Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng
2. Dr. Dwa Desa Warnana

ABSTRACT

TPA Ngipik is one of the area in East java which has a several active fault. Therefore, this region could cause an earthquake caused by these faults. TPA Ngipik has a problem in waste management system. It does not have a protection layer to prevent groundwater pollution. The height of waste reached 10 m and 12m. This research present the results of the Plaxis and Geoslope and mikrotremor analysis of surface's shear strain and safety factor due to seismic effect causing leakage of leachate.

In this research, soil investigation was conducted to estimate physical, mechanical, and dynamic soil properties. Dynamic soil properties test was used mikrotremor. Physical and mechanical properties was performed on 3 bore with a certain depth and mikrotremor testing had been done by dividing the area into a grid with distance 25m. The data is processed by HVSR method to get the soil dynamic parameter. Then, the results of physical, mechanical and dynamic parameters was modeled with Geoslope to determine safety factor of landfill and Plaxis to determine the shear strain of seismic effect arise on the layer of clay under the surface. In addition, the surface layer was modeled with clay liner parameter according to Environmental Protection Agency (EPA) with 1 and 2m around the landfill, and 2m below the landfill.

The bedrock depth ranges between 42-136 m with silty-clay soil. The vulnerability index (K_g) varies from 2.5 to 28, and shear strain ranges between 10^{-3} - 10^{-2} . The vulnerability index (K_g) is indicated the soil damage level due to ground motions. The weak zone, failed during earthquake was identified by the highest K_g and shear strain value. The shear strain from Plaxis Analysis is more reliable than Mikrotremor measurement with 55% different result. Area with highest K_g and shear strain is southwest and southeast. Safety factor of landfill in initial condition range 0.57-0.91 during the earthquake. The replacement of Clay liner with 1 and 2m thickness around the landfill was decrease shear strain about 2-19% and 17-33% and improve safety factor 1-15% and 2-18% from the initial condition, and decrease shear strain 23-40% and increase safety factor 4-27% with replacement of 2m thickness below the landfill.

Keyword : Landfill , Mikrotremor, HVSR, *Shear strain*, Ngipik, Gresik.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan kesempatan yang telah dilimpahkan, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Penilaian Stabilitas Timbunan dan Potensi Kebocoran Lindi Akibat Pengaruh Seismik Di Tempat Pembuangan Akhir Ngipik, Gresik”**. Dalam kesempatan ini penulis bermaksud mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang mendukung dan membantu atas terselesaikannya Tesis ini, yaitu:

1. Allah SWT atas limpahan rahmat serta anugerah-Nya.
2. Orang tua penulis yang selalu memberikan doa dan semangat
3. Ibu Dr. Ir. Ria Asih Aryani Soemitro, M.Eng dan Bapak Dr. Dwa Desa Warnana, M.Si atas bimbingan, arahan dan waktu yang telah diluangkan kepada penulis untuk berdiskusi selama menjadi pembimbing tesis ini.
4. Seseorang yang selalu menemani dimasa-masa sulit.
5. Dosen-Dosen bidang Geoteknik yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan mengenai geoteknik sehingga menunjang penyusunan Tesis ini.

Dalam pembuatan Tesis ini, penulis menyadari bahwa Tesis yang penulis buat masih sangat jauh dari kesempurnaan. Jadi dengan rasa hormat mohon petunjuk, saran, dan kritik terhadap Tesis ini, sehingga kedepannya diharapkan ada perbaikan terhadap Tesis ini serta dapat menambah pengetahuan bagi penulis.

Surabaya, April 2018

(Penulis)

DAFTAR ISI

COVER.....	ii
COVER ENGLISH.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR ISTILAH DAN NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1 Pendahuluan.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2 Tinjauan pustaka.....	7
2.1 Tempat Pembuangan Akhir.....	7
2.1.1 Metode Pengelolaan Sampah Akhir.....	7
2.2 Clay Liner.....	8
2.3 Mikrozonasi Gempa Bumi	9
2.4 Metode Mikrotremor	10
2.5 Analisis Statistik Data Tanah	21
2.6 Karakteristik Dinamis Sampah di TPA.....	22
2.7 Penentuan Parameter Beban Gempa	27
2.8 Analisis dengan program Bantu	28
2.8.1 Teori Dasar Kestabilan Lereng Akibat Gempa (Metode Irisan	

Konvensional)	28
2.8.2 Teori Dasar Analisis Safety Factor dengan Geoslope.....	29
2.8.3 Analisis Dinamis Dengan Plaxis	30
2.9 Penelitian terdahulu	31
2.9.1 Tempat Pembuangan Akhir, Gresik.	31
2.9.2 Stabilitas Timbunan Sampah Saat Gempa	32
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3 Metodologi penelitian	33
3.1 Tahapan Penelitian.....	33
3.2 Lokasi Pengukuran	34
3.3 Pengumpulan Data Sekunder.....	34
3.4 Pengambilan Tanah di Lapangan.....	34
3.4.1 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis	35
3.4.2 Lokasi Pengujian dan Sebaran Titik Pengujian Mikrotremor.....	35
3.4.3 Peralatan Mikrotremor	36
3.4.4 Pengolahan Data HVSr (<i>Horizontal to Vertical Spectral Ratio</i>)	36
3.5 Pengeplotan Nilai Frekuensi Natural, Amplifikasi, Kedalaman Lapsian Bedrock, dan Nilai Shear Strain.....	39
3.6 Analisis Hasil Mikotremor	39
3.7 Analisis Statistik untuk Mengetahui Karakteristik Tanah	39
3.8 Analisa Seismik Terhadap Kestabilan Timbunan dan Shear Strain Tanah ⁴⁰	
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	45
4 Pembahasan.....	45
4.1 Analisa Data.....	45
4.1.1 Data Topografi dan Geologi.....	45
4.1.2 Pengolahan Data Hasil Pengeboran	46
4.1.2.1 Stratigrafi Tanah.....	46
4.1.3 Pengolahan Data Mikrotremor Tanah	49
4.2 Pembahasan analisis Mikrotremor.....	51
4.2.1 Analisis Frekuensi Natural Tanah	51
4.2.2 Analisis Amplifikasi Tanah.....	53
4.2.3 Sebaran Ketebalan Lapisan Sedimen (H).....	54
4.2.4 Sebaran Indeks Kerentanan Tanah (Kg) dan Nilai Shear Strain	56

4.3	Pembahasan Analisis Dinamis Menggunakan Plaxis.....	58
4.3.1	Pembahasan Analisis Dinamis Shear Strain dan Safety Factor (Kondisi Eksisiting).....	60
4.3.2	Pembahasan Analisis <i>Safety Factor</i> dengan Berbagai Variasi Ketinggian Timbunan	66
4.3.3	Pembahasan Analisis Plaxis dengan Pemodelan Clay Liner	67
4.4	Pembahasan Nilai Safety Factor Menggunakan Analisis Geoslope dengan Pemodelan Clay Liner	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		73
5	73
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA.....		75
LAMPIRAN 1		79
LAMPIRAN 2		89
LAMPIRAN 3		99
LAMPIRAN 4		114
BIODATA PENULIS		133

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Peta perbaharuan sesar aktif di Jawa Timur (PUSKIM,2017).....	1
Gambar 1.2 Sebaran aktivitas gempa bumi signifikan periode 1977 – 2018	2
Gambar 2.1 Lapisan pada Sanitary landfill yang disarankan (EPA, 2012)	8
Gambar 2.2 Efek kadar air dan energi pemampatan pada nilai hydraulic conductivity tanah lempung (EPA, 2012).....	10
Gambar 2.3 Proses perekaman data mikrotremor pada sebuah stasiun (Nakamura, 1997)	12
Gambar 2.4 Karakteristik seismogram mikrotremor (Nakamura, 1997)	13
Gambar 2.5 Tampilan mikrotremor pada perangkat lunak (Mirzaoglu & Dykmen,2003)	13
Gambar 2.6 Diagram alir analisis kurva HVSR (Sumber : Nakamura, 1997).....	15
Gambar 2.7 Ketentuan pemilihan kurva H/V (SESAME, 2004).....	16
Gambar 2.8 Diagram alir analisis kurva HVSR (SESAME, 2004)	17
Gambar 2.9 Model dua lapisan: bedrock dan sedimen (Ibs-von dan Jurgen, 1999)	18
Gambar 2.10 Deformasi shear strain tanah permukaan (Nakamura, 1997).....	20
Gambar 2.11 Korelasi antara nilai γ dan kedalaman (Khrisna, 2009)	25
Gambar 2.12 (a) (b) (c) Nilai kekuatan geser sampah rumah tangga (Pinto, 2009).....	26
Gambar 2.13 Nilai E sampah perkotaan (Pinto, 2009)	27
Gambar 2.14 Peta nilai PGA Indonesia (http://puskim.pu.go.id)	27
Gambar 2.15 Metode irisan konvensional (Sutarman, 2013)	28
Gambar 3.1 Bagan alir metode penelitian.....	33
Gambar 3.2 Lokasi titik bore pengujian.....	34
Gambar 3.3 Lokasi pengukuran mikrotremor.....	35
Gambar 3.4 Peralatan mikrotremor (a) Mikrotremor (b) GPS (c) Aki 12 volt (d) Laptop	36
Gambar 3.5 Diagram pengelolaan kurva HSRV.....	37
Gambar 3.6 Data awal mikrotremor berupa gelombang vertikal dan horizontal..	37
Gambar 3.7 Data mikrotremor hasil pemilihan windows	38
Gambar 3.8 Gambar hasil akhir HVSR	39
Gambar 4.1 (a) Topografi TPA Ngipik (b) Geologi Gresik (Sukardi,1992)	46
Gambar 4.2 Stratigrafi tanah di lokasi TPA Ngipik.	46
Gambar 4.3 Nilai NSPT untuk setiap titik bor.....	47

Gambar 4.4 (a) Nilai γ & kedalaman (b) Nilai kohesi & kedalaman.	48
Gambar 4.5 Pengolahan data titik pengukuran di Titik 18.....	49
Gambar 4.6 Pemilihan window pada Titik 18.....	50
Gambar 4.7 Syarat kriteria reliabel kurva spektra H/V Titik 3	51
Gambar 4.8 Grafik spektrum Titik 3	51
Gambar 4.9 Peta kontur persebaran frekuensi natural.....	52
Gambar 4.10 Peta 3D persebaran frekuensi natural	53
Gambar 4.11 Sebaran nilai amplifikasi	53
Gambar 4.12 Sebaran nilai amplifikasi dalam 3D surface	54
Gambar 4.13 Sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen	55
Gambar 4.14 Sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen dalam 3D surface	55
Gambar 4.15 Indeks kerentanan tanah	56
Gambar 4.16 Sebaran 3d Indeks kerentanan tanah.....	56
Gambar 4.17 Sebaran nilai shear strain	57
Gambar 4.18 Sebaran 3d nilai shear strain	57
Gambar 4.19 (a) Lokasi cross section pemodelan (b) Potongan profile 1-1 (c) Potongan profile 2-2 (d) Potongan profile 3-3 (e) Potongan profile 4-4 (f) Potongan profile 5-5	59
Gambar 4.20 Input beban gempa TPA Ngipik.....	60
Gambar 4.21 Nilai SF dan shear strain untuk setiap profile timbunan.....	60
Gambar 4.22 (a) Nilai shear strain hasil analisis plaxis (b) nilai shear strain analisis mikrotremor (c) Nilai shear strain akhir hasil dari analisa plaxis dan mikrotremor.	61
Gambar 4.23 Selisih nilai shear strain antara mikrotremor dan plaxis.....	62
Gambar 4.24 (a) Penyebaran shear strain profile 1 (b) Penyebaran shear strain profile 2 (c) Penyebaran shear strain profile 3 (d) Penyebaran shear strain profile 4 (e) Penyebaran shear strain profile 5	65
Gambar 4.25 Nilai SF dengan berbagai variasi ketinggian	66
Gambar 4.26 (a) Skestas pemodelan 1 (b) Skestas pemodelan 2 (c) Skestas pemodelan 3 (d) Skestas pemodelan 4	67
Gambar 4.27 Hasil nilai shear strain dari plaxis dengan pemodelan clay liner.....	69
Gambar 4.28 Nilai SF berdasarkan pemodelan clay liner	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kreteria analisis HVSR.....	16
Tabel 2.2 Hubungan nilai shear strain dengan sifat dinamis tanah.....	21
Tabel 2.3 Korelasi nilai N SPT pada Tanah Kohesif.....	22
Tabel 2.4 Korelasi nilai N SPT pada Tanah Kohesif.....	23
Tabel 2.5 Tabel hasil nilai berat volume sampah di berbagai TPA	24
Tabel 2.6 Nilai c dan ϕ dibeberapa TPA.....	26
Tabel 3.1 Tabel langkah pemodelan menggunakan Plaxis	40
Tabel 3.2 Parameter Clay liner dan sampah untuk pemodelan plaxis	43

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Hasil statistik data tanah dasar.....	79
LAMPIRAN 2 Hasil pengolahan mikrotremor.....	89
LAMPIRAN 3 Hasil output Plaxis.....	99
LAMPIRAN 4 Hasil output Geoslope.....	114

DAFTAR ISTILAH DAN NOTASI

A_m	: Amplifikasi tanah
a_d	: Percepatan gempa
α	: Koefisien alpha Bathrust dan Hatami
b	: Koefisien <i>Bandwidth</i>
β	: Koefisien beta Bathrust dan Hatami
c	: Kohesi tanah (ton/m ²)
E	: Modulus elastisitas tanah
f_0	: Frekuensi natural tanah
g	: Gravitasi (cm/dtk ²)
H	: Kedalaman lapisan sedimen
k	: Permeabilitas tanah (m/hari)
kh	: Koefisien gaya gempa horizontal
k_g	: Indek kerentanan tanah
μ	: Poison tanah
m_v	: Koefisien perubahan volume
N	: Hasil SPT
R	: Jari-Jari kelongsoran
SF	: Safety factor
δ	: Seismic displcement
γ	: <i>Shear strain</i>
γ	: Berat volume tanah (ton/m ²)
V_s	: Kecepatan gelombang geser
$V_{s,30}$: Rata-rata kecepatan gelombang S (V_s) di atas kedalaman 30 meter
V_p	: Kecepatan gelombang longitudinal
W	: Luas tiap irisan
x	: Jarak horizontal dari pusat masa irisan
ρ	: Densitas
Φ	: Sudut geser tanah

BAB I


PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

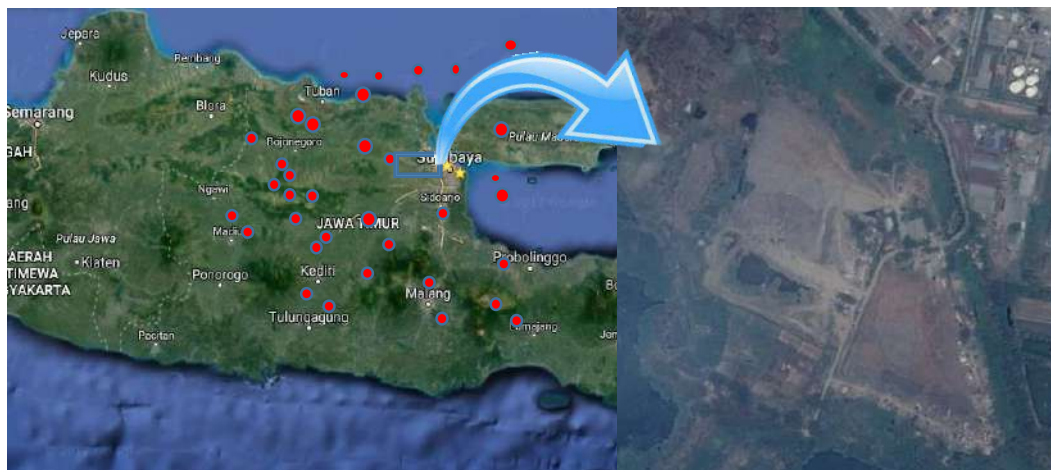
Gresik berada dekat dengan beberapa lajur sesar aktif, seperti lajur sesar Lasem, lajur sesar aktif Watu Kosek, lajur sesar aktif Grindulu, lajur sesar aktif Pasuruan, dan lajur sesar Karangandong. Keadaan struktur perlipatan pada cekungan Jawa Timur bagian utara pada umumnya berada pada arah Barat – Timur, sedangkan struktur patahannya umumnya berada pada arah Timur Laut – Barat Laut dan ada beberapa sesar naik yang berada pada arah Timur – Barat. Berdasarkan data sebaran sesar aktif di Indonesia yang dihasilkan dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (PUSKIM, 2017), menunjukkan bahwa ada penambahan lajur 37 sesar baru yang berada di pulau jawa, salah satunya adalah sesar Kendeng yang melawati daerah Semarang hingga Surabaya. Oleh sebab itu besar kemungkinan wilayah ini bisa terjadi gempa bumi yang diakibatkan oleh sesar-sesar tersebut. Gambaran dari beberapa sesar aktif disekitar jawa Timur diberikan pada Gambar 1.1.


Gresik serta daerah Jawa Timur lainnya memiliki riwayat gempa dari tahun 1977 – 2018 . Sebaran aktivitas gempa ini dapat dilihat pada Gambar 1.2. Dari faktor di atas maka penting untuk memperkirakan bahaya seismik yang mungkin terjadi oleh gempa bumi untuk mengurangi potensi kerusakan yang diakibatkan oleh gempa bumi.



 Lokasi penelitian, TPA Ngipik Gresik

Gambar 1.1 Peta perbaharuan sesar aktif di Jawa Timur (PUSKIM,2017)



 Lokasi penelitian, TPA Ngipik Gresik

Gambar 1.2 Sebaran aktivitas gempa bumi signifikan periode 1977 – 2018

Berdasarkan kondisi geologi, Gresik merupakan daerah dengan kondisi sebagian besar tanah di wilayahnya terdiri dari cekungan endapan alluvial, batu kapur, grumusol, mediteran merah dan batu pasir dengan sedimen berupa batu gamping dan lempung. Suatu wilayah dengan kondisi geologi berupa endapan aluvial, tuff dan batu pasir mempunyai potensi bahaya lebih besar terhadap efek intensitas getaran tanah akibat amplifikasi dan interaksi getaran tanah terhadap bangunan karena gempa bumi (Nakamura et al., 2000).

Kabupaten Gresik hanya memiliki satu fasilitas TPA yaitu di TPA Ngipik. TPA ngipik terletak di area perindustrian dengan kapasitas penampungan sampah yang hampir mencapai maksimal. Timbunan sampah yang berada di lokasi ini berjumlah 2 timbunan sampah dengan ketinggian tumpukan sampah setinggi 10 m dan 12m yang akan terus ditumpuk terus karena merupakan salah satu pengolahan sampah untuk kepentingan industri PT. Petrokimia.

Proses dekomposisi sampah yang ada pada TPA tersebut akan menghasilkan cairan yang disebut lindi (*leachate*). Lindi merupakan cairan yang dihasilkan oleh sampah yang terdekomposisi, kemudian terekstraksi dan tersuspensi oleh reaksi dari sampah (Raghab et al, 2013). Kandungan kimia yang terkandung dalam lindi antara lain Ca, CaCO₃, Mg, K, Na, Fe, Si, Al, Cl, SO₄ dan Amonia. Lindi yang tidak tersaring dengan baik dapat terpenetrasi ke dalam tanah. Salah satu

pencemaran akibat lindi telah dibuktikan dari hasil penelitian air sumur yang letaknya berdekatan dengan Lokasi Penampungan Akhir (LPA) Sukolilo Surabaya dimana parameter-parameter kualitas air yang melebihi Nilai Ambang Batas (NAB) (Endah et al,1995). Nilai yang melebihi NAB mengindikasikan tercemarnya air tanah disekitar TPA. Pencemaran pada air tanah sangat memberikan efek buruk bagi masyarakat setempat.

Sistem pengolahan sampah di TPA ngipik masih menggunakan sistem *open dumping*. Sistem *open dumping* tidak mempunyai lapisan kedap air yang baik untuk mencegah cairan lindi meresap ke dalam tanah sehingga mengakibatkan kualitas air tanah menjadi tercemar (Moore, 2002). Lapisan yang digunakan untuk menahan lindi meresap pada air tanah biasanya menggunakan lapisan lempung (*clay liner*) namun tidak semua jenis lempung dapat dijadikan *clay liner* karena ada beberapa karakteristik tertentu yang harus sesuai dengan persyaratan dari EPA (*Enviromental Protection Agency*). Selain *clay liner*, ada beberapa lapisan pelindung (*protection layer*) serta sirkulasi lindi bawah permukaan yang telah diatur sedemikian rupa agar mencegah meresapnya lindi ke air tanah.

Setiap infrastruktur yang dirancang pada daerah dengan potensi gempa yang cukup besar harus memperhatikan analisa terhadap bahaya seismik yang mungkin akan terjadi, termasuk tempat pembuangan akhir (TPA). Salah satu contoh yaitu gempa Northridge tahun 1994 sudah mendorong komunitas ilmiah untuk menganalisa respon seismik tempat pembuangan akhir, karena kerusakan yang terjadi pada lapisan bawah permukaan mengakibatkan lindi meresap langsung ke dalam tanah dan memberikan pengaruh besar terhadap lingkungan sekitar. Hal serupa juga terjadi di tempat pembuangan sampah di daerah California dengan kerusakan yang lebih besar akibat pergerakan terhadap timbunan sampah serta terjadinya *permanent displacement* terhadap lapisan bawah permukaan, diikuti juga gempa Kobe 1995 yang juga memberikan efek negatif akibat pencemaran air tanah terhadap lingkungan sekitar (Zania et al 2007).

Gempa juga menyebabkan terganggunya Stabilitas timbunan sampah yang sangat memberikan efek terhadap lingkungan sekitar. Pada tanggal 9 Maret 1996, salah satu TPA di Amerika serikat mengalami keruntuhan timbunan sampah dengan

melibatkan volume sampah sebesar 1.2 juta m³, volume sampah sebesar 500.000 m³ di Maine, AS juga pernah mengalami kelongsoran (Gharabaghi et al, 2007). Salah satu penyebab terjadinya kelongsoran tempat pembuangan akhir dikarenakan besarnya *displacement* dan *shear strain* akibat pergeseran antara tanah dasar yang mempunyai kekuatan geser yang rendah akibat gempa. Selain itu di Indonesia juga pernah mengalami kelongsoran TPA, yaitu TPA Leuwihgadjah Bandung pada Februari 2005 yang memakan ratusan korban jiwa dan kerugian yang besar bagi warga sekitar, namun gempa bukan menjadi penyebab longsor nya TPA ini melainkan karena kapasitas TPA yang sudah terlalu banyak (Filz et al., 2007).

Selain stabilitas timbunan sampah, yang harus diperhatikan adalah potensi kerusakan yang menyebabkan kebocoran lindi yang mungkin terjadi. Banyak penelitian yang menghasilkan parameter dinamis dari tanah dasar di TPA, namun belum banyak yang menganalisis potensi kerusakan maupun *crack* yang terjadi dibawah timbunan sampah akibat gempa yang dapat menyebabkan kebocoran dan penyebaran lindi. Salah satu upaya untuk memperkirakan karakteristik tanah terhadap bahaya seismik adalah mengetahui nilai parameter dinamis daerah setempat. Penentuan karakteristik dinamik tanah dapat dilakukan secara konvensional, yaitu metode geofisika borehole, namun membutuhkan biaya lebih mahal serta waktu yang cukup lama. Oleh sebab itu diperlukan pengukuran dengan mikrotremor.

Pengukuran dengan mikrotremor memberikan hasil yaitu berupa rasio spektrum horizontal-to-vertikal (HVSr) yang dapat ditentukan dengan satu sensor, sehingga dapat dengan mudah dan cepat untuk mengetahui karakteristik dinamis dari daerah setempat (Sungkono dan Santosa, 2011). Mikrotremor juga dapat digunakan untuk menentukan efek tapak lokal akibat kegempaan, serta area dengan potensi kerusakan yang lebih besar dari karakteristik dinamis tanah yang didapat. Daerah dengan potensi kerusakan yang lebih besar memiliki potensi crack, longsor, maupun kerusakan lainnya yang dapat menyebabkan penyebaran lindi dan akan membahayakan bagi daerah sekitar.

Penumpukan sampah yang semakin tinggi serta tidak teraturnya sistem sirkulasi air lindi memungkinkan harus ada pengecekan terhadap timbunan sampah serta efek lokal akibat kegempaan. Perlu di analisis area yang memiliki potensi kerusakan yang lebih tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk mengetahui efek tapak lokal terhadap gempa di area TPA ngipik, sehingga apabila dibangun pengelolaan lindi yang baru, kerusakan akibat kegempaan dapat dikurangi.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun permasalahan- permasalahan yang dapat di rinci adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana Stabilitas timbunan awal dan saat terjadinya gempa di TPA Ngipik?
2. Berapa nilai shear strain di TPA Ngipik yang menyebabkan crack dan potensi kerusakan di tanah dasar akibat gempa ?
3. Bagaimana perilaku nilai stabilitas timbunan dan shear strain apabila tanah dasar diganti dengan clay liner ?

1.3 Batasan Masalah

1. Lindi yang dilihat hanya sebatas dipermukaan saja, yaitu di lapisan bawah permukaan timbunan sampah.
2. Analisis dinamis tidak memperhitungkan adanya pengaruh dekomposisi sampah
3. Program analisis dinamis menggunakan dengan meotde finite element yaitu program Plaxis dan untuk Safety factor menggunakan Geoslope.
4. Tidak mempertimbangkan genangan air lindi yang sudah ada TPA.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai stabilitas timbunan awal dan saat terjadinya gempa di TPA Ngipik
2. Mengetahui nilai shear strain di TPA Ngipik yang menyebabkan crack dan potensi kerusakan akibat gempa

3. Mengetahui perilaku stabilitas timbunan dan *shear strain* apabila dilakukan pergantian tanah dasar dengan clay liner.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin diberikan dalam penelitian ini adalah agar hasilnya dapat digunakan sebagai penanganan efek kegempaan apabila terjadinya gempa pada TPA lama dan bahan pertimbangan apabila akan membangun dan merencanakan TPA baru di masa yang akan datang, serta menjadi acuan untuk pembangunan sirkulasi lindi yang baru sehingga efek kerusakan akibat gempa dapat dikurangi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tempat Pembuangan Akhir

Menurut SNI 03-3241-1994, tempat pembuangan akhir (TPA) sampah adalah sarana fisik untuk berlangsungnya kegiatan pembuangan akhir sampah berupa tempat yang digunakan untuk mengkarantina sampah kota secara aman. Sedangkan menurut UU No. 18 Tahun 2008 tentang Pengelolaan Sampah, TPA adalah sarana fisik untuk berlangsungnya kegiatan pemrosesan akhir sampah. Proses akhir sampah adalah tempat untuk memproses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan secara aman bagi manusia dan lingkungan.

TPA sampah menjadi tempat akhir dan bisa jadi menjadi komponen paling penting dalam proses panjang dan kompleks dari pengelolaan sampah suatu daerah. Oleh karena itu mengenai pengambilan keputusan untuk penentuan lokasi TPA sampah menjadi sangat penting agar diperhatikan karena pengelolaan sampah yang tidak efektif akan berdampak negatif terhadap kehidupan sehari-hari warga di suatu daerah tersebut.

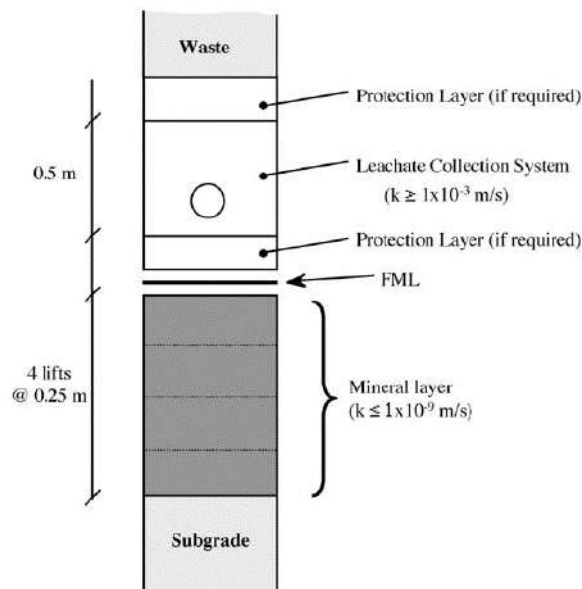
2.1.1 Metode Pengelolaan Sampah Akhir

Secara garis besar ada 2 metode pengelolaan sampah yang dilakukan, yaitu:

1. Metode *Open Dumping*, yaitu sistem pembuangan sampah yang dilakukan secara terbuka. Hal ini akan menjadi masalah jika sampah yang dihasilkan adalah sampah organik yang membusuk karena menimbulkan gangguan pembauan dan estetika serta menjadi sumber penularan penyakit.
2. Metode *Sanitary Landfill* (lahan urug saniter), *Sanitary Landfill* merupakan penimbunan sampah dengan cara mengurug sampah secara berlapis-lapis pada lahan yang telah disiapkan, diratakan dan dipadatkan, kemudian ditutup dengan tanah penutup setiap akhir operasi. Ketika air hujan berinfiltrasi kepermukaan landfill dan air ini mengalir keluar dari landfill akan membawa berbagai mineral dan zat organik dalam bentuk suspensi yang tak dapat dipisahkan (Samang, 2012). Dibandingkan dengan open

dumping, pengelolaan sampah yang lebih baik adalah sistem *sanitary landfill* (penimbunan secara sehat). Sanitary landfill didesain sedemikian rupa untuk mencegah merembesnya *leachate* ke dalam air tanah. Di dasar TPA, dipasang clay liner yaitu tanah lempung yang dipadatkan lapis demi lapis dengan energi dan kadar air tertentu. Di atas clay liner, dipasang geomembrane yang juga berfungsi mencegah merembesnya leachate ke dalam air tanah (Bagchi, 1994).

Adapun material penyusun tanah dasar TPA dengan metode sanitary landfill dapat diberikan oleh Gambar 2.1 berikut ;



Gambar 2.1 Lapisan pada Sanitary landfill yang disarankan (EPA, 2012)

2.2 Clay Liner

Pada konstruksi sebuah landfill, lapisan kedap air yang menggunakan lempung sebagai materialnya (clay liner) dibuat dengan tebal lapisan vertikal berkisar antara 1,2 meter sampai 1,5 meter sedangkan dinding samping harus lebih tebal dari lapisan vertikal dengan kemiringan 1 : 4. Koefisien rembesan (hydraulic conductivity) clay liner harus lebih kecil atau sama dengan $1 \times 10^{-9} \text{ cm/detik}$ (Bagchi, 1994; Yunarti 2011).

United States Environmental Protection Agency (EPA 2013) memberikan persyaratan susunan lapisan pada TPA limbah rumah tangga adalah sebagai berikut

:

- Tebal minimum lapisan tanah yang kedap pertama pada posisi paling atas (area pengumpulan air lindi) adalah 0.5 m dengan *hydraulic conductivity* sebesar 1×10^{-3} m/s;
- Lapisan atas dari susunan lapisan kedap adalah geomembran dengan ketebalan minimum 2 mm
- Lapisan kedap pada bagian bawah tanah yang telah dipadatkan setebal minimal 2m dengan nilai *hydraulic conductivity* of 1×10^{-9} m/s

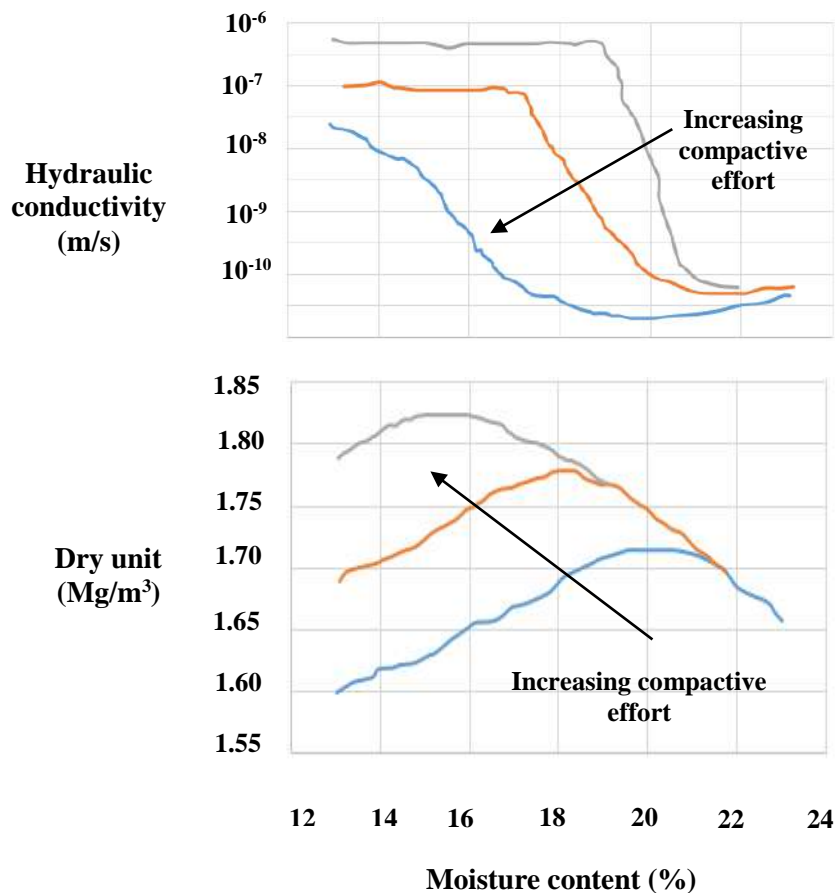
Karakteristik clay liner yang dibutuhkan untuk lapisan lempung bawah permukaan harus melewati proses yang dipadatkan sehingga dapat mencapai keentuan yang telah diisyaratkan. Kriteria pemampatan yang penting adalah kepadatan dan kadar air. Kepadatan dapat dicapai sebagai fungsi kadar air yang dapat ditentukan oleh uji pemadatan laboratorium seperti ditunjukan pada Gambar 2.2

2.3 Mikrozonasi Gempa Bumi

Seismic microzonasi merupakan proses membagi suatu zona menjadi zona-zona kecil berdasarkan tanggapan geologi setempat terhadap gempa bumi. Tanggapan ini, tergantung pada struktur bawah permukaan.

Mikrozonasi kegempaan merupakan proses membagi suatu zona menjadi zona-zona kecil berdasarkan tanggapan (*response*) geologi setempat terhadap gempa bumi. Karakteristik dan *value* dari tanggapan ini sangat ditentukan oleh kondisi tanah dan batuan pada struktur bawah permukaan. Upaya mikrozonasi merupakan salah satu upaya untuk meningkatkan akurasi dan presisi pendugaan karakteristik kegempaan wilayah tersebut.

Mikrozonasi dilakukan dengan menggunakan analisis data mikrotremor. Mikrotremor merupakan getaran tanah dengan amplitudo beberapa mikrometer yang dapat ditimbulkan oleh peristiwa alam maupun buatan, misal angin, gelombang laut, dan getaran kendaraan. Alat deteksi mikrotremor mempunyai tiga komponen sensor; dua sensor horizontal dan satu sensor vertikal (Tuladhar *et al.*, 2004).



Gambar 2.2 Efek kadar air dan energi pemampatan pada nilai hydraulic conductivity tanah lempung (EPA, 2012)

Analisis data ketiga komponen tersebut, dapat digunakan untuk estimasi periode frekuensi dominan rasio gelombang horizontal dan vertical (rasio H/V) dan amplifikasi gerakan gelombang gempa (Nakamura, 1989; Lu *et al.*, 1992). Frekuensi amplifikasi dan periode spectrum rasio H/V digunakan sebagai alat untuk membuat peta tingkat resiko bangunan jika terjadi gempa di suatu daerah (Bauer *et al.*, 2001).

2.4 Metode Mikrotremor

Mikrotremor merupakan suatu alat yang dapat mengukur gerakan tanah dengan metode HVSRR, untuk mengestimasi frekuensi natural dan amplifikasi geologi dari data mikrotremor (Nakamura, 1989) serta mampu untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah (Nakamura, 1997). Dalam karakterisasi geologi lokal perlu diketahui beberapa parameter bawah permukaan yang mempengaruhi, yakni frekuensi natural, amplifikasi tanah dan indeks kerentanan

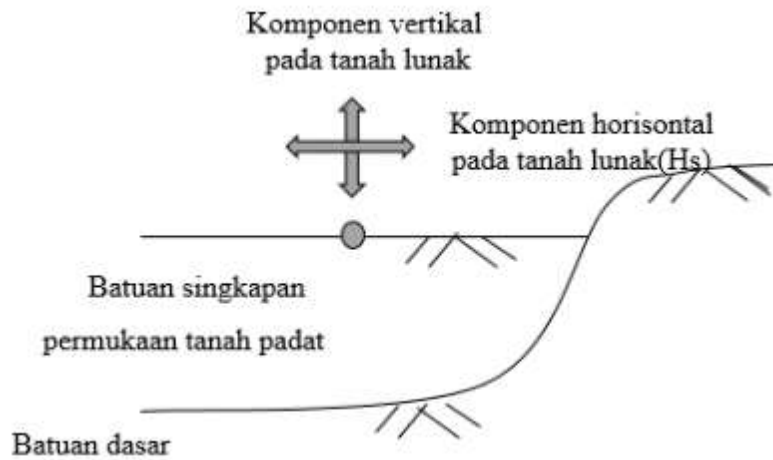
tanah (Herak, 2008). Metode mikrotremor dengan teknik HVSR banyak dipakai untuk memperkirakan pengaruh efek tapak lokal. Popularitas metode ini terutama karena dapat dilakukan pada berbagai kondisi lokasi, instrumen dan analisa yang sederhana serta tidak memiliki konsekuensi terhadap lingkungan sekitar (Muccearelli et al., 2007).

Mikrotremor juga merupakan sebutan untuk gelombang seismik yang beramplitudo rendah dan sering juga disebut mikroseismik. Amplitudo gelombang mikrotremor berkisar 10⁻⁴ sampai dengan 10⁻² mm (Okada, 2003).

Metode ini diperkenalkan pertama kali dengan menganalisis karakterisasi suatu tempat. Rasio Spektrum fourier horisontal mikrotremor digunakan mengeliminasi efek sumber. Spektrum fourier vertikal terhadap horizontal diketahui stabil. Beberapa asumsi untuk metode ini adalah :

1. Mikrotremor sebagian besar terdiri dari gelombang geser.
2. Komponen vertikal gelombang tidak mengalami amplifikasi lapisan tanah lunak dan hanya komponen horizontal yang teramplifikasi.
3. Tidak ada amplitudo yang berlaku dengan arah yang spesifik pada batuan dasar, dengan getaran yang ke segala arah

Gelombang geser diasumsikan dominan pada mikrotremor, Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.3, sehingga identifikasi rasio spektrum horizontal terhadap vertikal (HVSR) data mikrotremor suatu tempat sama dengan fungsi transfer gelombang geser yang bergetar antara permukaan dan batuan dasar di suatu tempat.



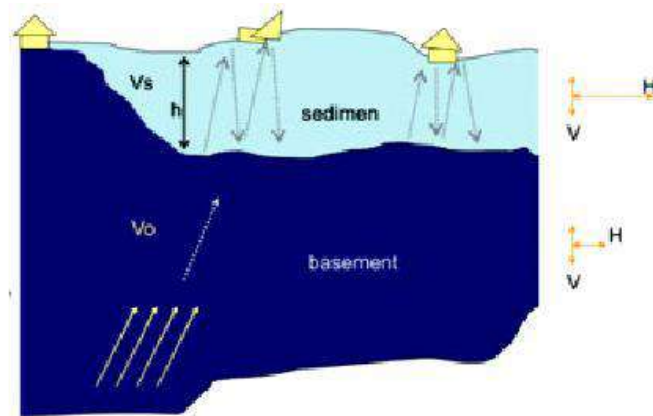
Gambar 2.3 Proses perekaman data mikrotremor pada sebuah stasiun (Nakamura, 1997)

Untuk mengetahui parameter yang berpengaruh pada frekuensi natural, amplifikasi dan indeks kerentanan tanah perlu dilakukan karakterisasi kurva HVSr. Dalam karakterisasi HVSr perlu diketahui terlebih dahulu model gelombang yang terkandung dalam HVSr (Dal Moro, 2010a; 2010b). Kannai dan Tanaka (1954, 1951) berhasil menemukan metode untuk mengklasifikasikan kondisi tanah berdasarkan karakteristik *spectra noise*. Mereka menyarankan kurva distribusi periode dari mikrotremor menunjukkan tipe-tipe tanahnya.

Proses perekaman data mikrotremor adalah dengan dilakukan pada tanah padat (*Soft sediment deposits*). Mikrotremor akan melakukan perekaman data horizontal dan vertical, lalu membaca suatu lapisan sedimen tanah tertentu hingga mencapai batuan dasar. Seismogram di dataran dengan kategori berupa alluvial lunak memiliki amplitudo yang lebih tinggi dan lebih panjang durasinya, sementara untuk batuan dasar amplitudonya mempunyai durasi yang lebih pendek dan rendah. Ilustrasi diberikan pada Gambar 2.4.

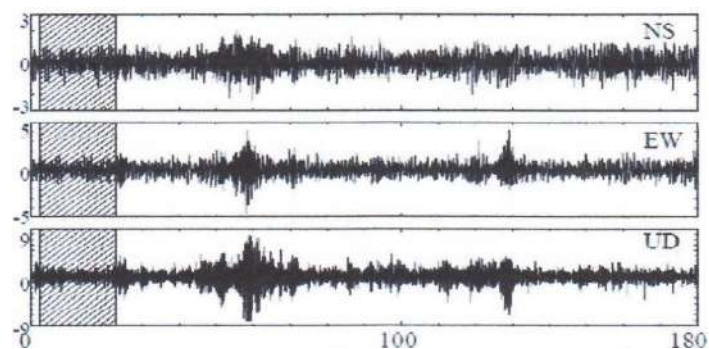
Dalam kaitannya terhadap aplikasi geoteknik, khususnya di bangunan dan tanah, mikrotremor digunakan untuk identifikasi resonansi frekuensi natural bangunan (Gallipoli *et al*, 2004; Mucciareli dan Gallopoli, 2004) dan tanah (Gosar *et al*, 2012; Warnana 2011). Gallipoli *et al* (2004) melakukan studi tentang peningkatan kerusakan bangunan dan resonansi struktur tanah gempa bumi

menggunakan mikrotremor gempa bumi Molise. Menggunakan mikrotremor (Calderon, 2012) menggambarkan profil *shear wave* yang diestimasi dari rekaman mikrotremor. Analisis ini dilakukan untuk memperkirakan profil tanah, yaitu proses korelasi gelombang, pengembangan kurva dispersi dan inversi (Calderon *et al.* 2012).



Gambar 2.4 Karakteristik seismogram mikrotremor (Nakamura, 1997)

Mikrotremor merupakan vibrasi tanah yang disebabkan oleh aktivitas lalu lintas, industri, dan aktivitas manusia di permukaan Bumi. Sumber-sumber vibrasi tanah yang disebabkan oleh faktor alam dapat berupa interaksi angin dan struktur bangunan, arus dan gelombang laut periode panjang juga mempengaruhi vibrasi mikrotremor (Motamed *et al.*, 2007; Petermans *et al.*, 2006). Contoh tampilan data mikrotremor dapat dilihat pada Gambar 2.5.



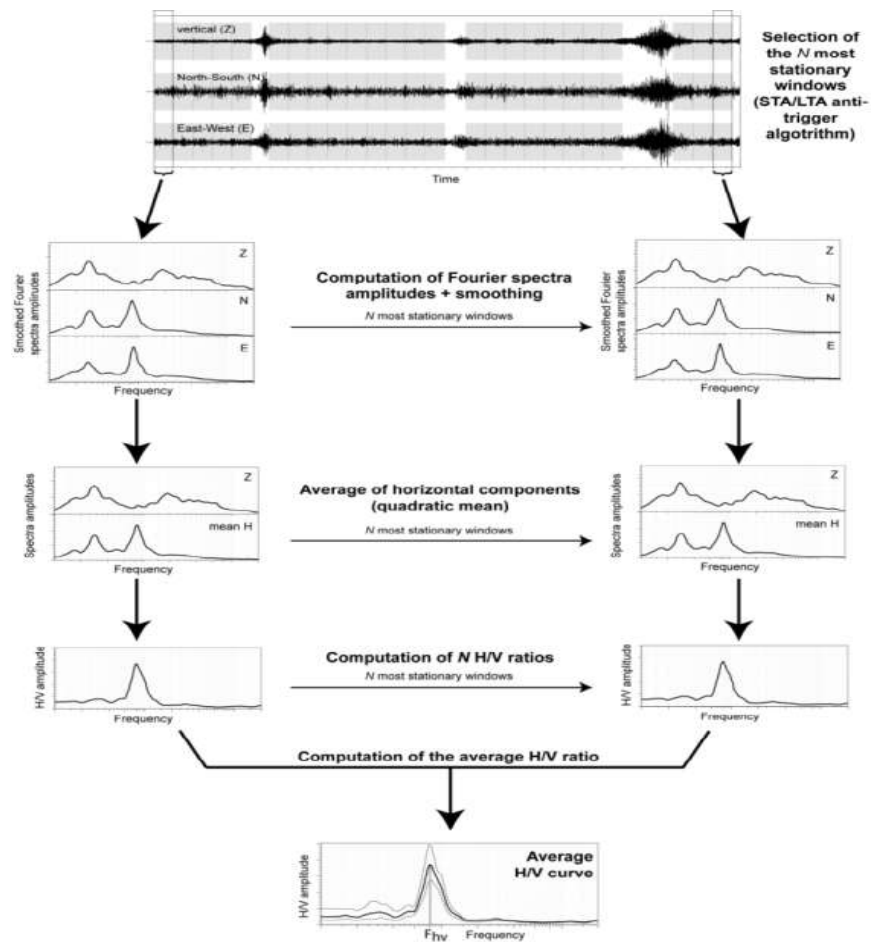
Gambar 2.5 Tampilan mikrotremor pada perangkat lunak (Mirzaoglu & Dykmen, 2003)

Metode analisis HVSR yang dikembangkan oleh Nakamura (1989) menghitung rasio spektrum fourier dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya. Hasil analisis HVSR akan menunjukkan suatu puncak spektrum pada frekuensi dominan (Nakamura, 1989). Frekuensi resonansi (f_0) dan faktor amplifikasi (A) yang menggambarkan karakteristik dinamis tanah dihasilkan dari analisis HVSR (Nakamura et al., 2000). Metode analisis HVSR diakui secara luas sangat handal dalam mengestimasi frekuensi resonansi lapisan tanah permukaan lokal (Molnar et al., 2007; Jensen, 2000). Panou et al. (2004) mengkaji hubungan antara spektrum HVSR dengan data kerusakan gempa bumi, hasilnya menunjukkan adanya korelasi antara data kerusakan dengan pola spektrum HVSR tertentu.

Nilai intensitas kerusakan yang tinggi terjadi pada zona frekuensi resonansi rendah dengan faktor amplifikasi yang tinggi, sebaliknya tingkat kerusakan rendah terjadi pada zona frekuensi resonansi yang tinggi dengan faktor amplifikasi rendah. Interferensi antar gelombang seismik yang bisa terjebak pada lapisan sedimen berkembang menuju pola resonansi yang berkenaan dengan karakteristik lapisan sedimen. Pada perkembangannya untuk mencari nilai HVSR digunakan software GEOPSHY atau Easy HVSR sehingga bisa menghemat waktu dalam menganalisa suatu gelombang.

Metode analisis HVSR, komponen horizontal dan vertikal mikrotremor diukur dengan menggunakan satu buah stasiun. Metode ini tidak memerlukan referensi pengukuran suatu tempat, yang mengurangi waktu pengukuran dan hasil pengukurannya lebih akurat. Penggambaran spektrum HVSR didapatkan dari perhitungan rasio spektrum Fourier komponen vertikal terhadap komponen horizontal. Spektrum HVSR pengukuran mikrotremor didapatkan dari persamaan (2.1). Skema sederhana dari metode HVSR ini dapat dilihat pada Gambar 2.6.

$$\text{Spektrum H/V} = \frac{\text{Spektrum Fourier Komponen Horizontal}(H_s)}{\text{Spektrum Fourier Komponen Vertikal}(H_v)} \quad (2.1)$$



Gambar 2.6 Diagram alir analisis kurva HVSR (Sumber : Nakamura, 1997)

Dalam pemilihan window pada saat smoothing data untuk kurva HV menggunakan syarat-syarat dari persamaan seperti Gambar 2.7. Kriteria tersebut harus dipenuhi agar data yang dipilih dapat dikatakan “reliable”. Analisis HVSR juga menggunakan kriteria yang ditetapkan oleh SESAME (2004) (Tabel 2.1). Analisis data ini juga menggunakan overlapping antar window sebesar 10 %. Kriteria analisa HVSR tergantung pada frekuensi natural yang dituju. Tabel 2.2 menunjukan bahwa jumlah total “significant cycle”: $n_c = I_w \cdot n_w \cdot f_0$ harus lebih besar dari 200 (artinya, untuk peak frekuensi 0.5 Hz, 10 window dengan setiap window 40 s, atau 20 window dengan tiap window 20 s, bukannya 40 window dengan tiap window 10 s). Window yang dianalisis berupada data yang stasioner (bebas *trigger*), sebagaimana yang disarankan SESAME (2004) (Gambar 2.8).

Criteria for a reliable H/V curve

i) $f_0 > 10 / l_w$
and

ii) $n_c(f_0) > 200$
and

iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$
or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$

- l_w = window length
- n_w = number of windows selected for the average H/V curve
- $n_c = l_w \cdot n_w$, f_0 = number of significant cycles
- f = current frequency
- f_{sensor} = sensor cut-off frequency
- f_0 = H/V peak frequency
- σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$)
- $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
- A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0
- $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f
- f^* = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
- f^* = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^*) < A_0/2$
- $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
- $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve
- $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$
- $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits
- $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer
- h = depth to bedrock
- h_{\min} = lower-bound estimate of h

Criteria for a clear H/V peak
(at least 5 out of 6 criteria fulfilled)

i) $\exists f' \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$

ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$

iii) $A_0 > 2$

iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$

v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$

vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

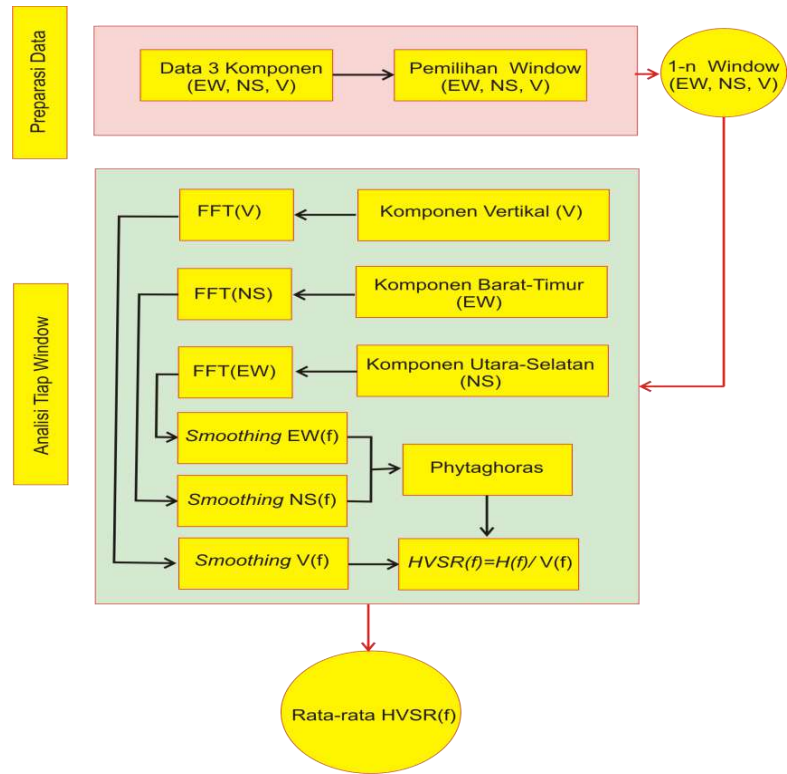
Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Gambar 2.7 Ketentuan pemilihan kurva H/V (SESAME, 2004)

Tabel 2.1 Kreteria analisis HVSr

Fo [Hz]	Waktu minimum setiap window [s]	Jumlah Window minimum	Durasi sinyal minimum
0.2	50	10	1000
0.5	20	10	400
1	10	10	200
2	5	10	100
5	5	10	40
10	5	10	20

Sumber : SESAME (2004)



Gambar 2.8 Diagram alir analisis kurva HVSR (SESAME, 2004)

Guéguen *et al.* (2000) mengformulasikan frekuensi natural setempat sebagai fungsi ketebalan lapisan (H) dan Amplifikasi (A) getaran gempa bumi dapat dinyatakan dalam Persamaan (2.2) dan (2.3).

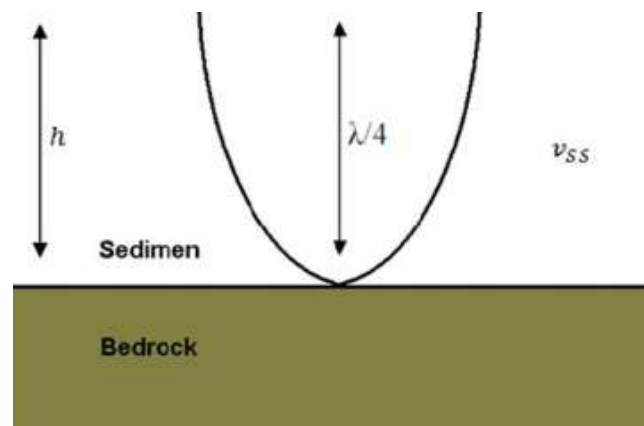
$$f_o = \frac{\sum_{i=1}^n V_{Si} H_i}{4 \left(\sum_{i=1}^n H_i \right)^2} \quad (2.2)$$

$$A = \frac{\rho_b V_{Sb}}{\rho_s V_{Ss}} \quad (2.3)$$

Frekuensi dominan didefinisikan sebagai frekuensi dari getaran yang terjadi pada saat nilai maksimum dari spektrum amplitudo fourier (*Fourier Amplitude Spectrum*). Frekuensi yang terjadi pada saat terjadinya amplitudo maksimum dari spektrum amplitudo fourier. Frekuensi dominan berkaitan dengan periode dominan tanah. Nilai periode dominan tanah di suatu tempat berbanding terbalik dengan nilai frekuensi dominannya. Nilai frekuensi dominan tanah dapat diestimasi dengan metode Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) dari rekaman mikrotremor yang diperkenalkan secara luas oleh Nakamura (1989), seperti dijelaskan di atas, dengan diketahui frekuensi dominan tanah, diketahui periode getaran tanahnya.

Pada daerah dengan nilai frekuensi dominan (f_0) rendah rentan terhadap getaran dengan periode panjang yang dapat mengancam bangunan bertingkat tinggi (Tuladhar, 2002). Hal ini dikarenakan bangunan tinggi memiliki frekuensi dominan struktur yang rendah, sehingga menimbulkan resonansi apabila bangunan ini dibangun pada daerah yang memiliki frekuensi dominan yang rendah pula. Dengan mengetahui sebaran frekuensi dominan/resonansi pada suatu daerah dan memanfaatkannya dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diharapkan akan dapat mengurangi risiko kerusakan akibat gempa bumi di masa yang akan datang.

Frekuensi dominan mempunyai hubungan dengan ketebalan sedimen disuatu wilayah. Frekuensi dominan dari hasil pengukuran mikrotremor di lapangan dapat digunakan untuk mengestimasi ketebalan sedimen. Perbandingan antara frekuensi dominan observasi dan numerik juga menunjukkan adanya hubungan pengukuran mikrotremor yang tergantung pada kedalaman dan kecepatan gelombang geser. Ilustrasi sederhana berupa model struktur tanah dua lapis yaitu bedrock yang tertutupi lapisan lunak (sedimen) diatasnya memiliki ketebalan lapisan sedimen (h) dan kecepatan gelombang geser rata-rata (v_{ss}) pada lapisan lunak (sedimen) seperti pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Model dua lapisan: bedrock dan sedimen (Ibs-von dan Jorgen, 1999)

Nilai h (ketebalan lapisan sedimen) digunakan untuk mengetahui ketebalan sedimen. Untuk mengetahui nilai h yang digunakan perumusan (2.4) (Nakamura, 1997) yakni :

$$h = \frac{Vs}{4Fo} \quad (2.4)$$

Notasi untuk rumusan diatas adalah f_0 frekuensi dominan, Vs kecepatan rata-rata gelombang geser, h ketebalan sedimen. Berdasar persamaan ini selain frekuensi dominan, kecepatan gelombang sekunder juga menentukan hasil perhitungan ketebalan sedimen.

Indeks kerentanan seismik (K_g) adalah indeks yang menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempa bumi. Menurut Nakamura (2000), Nakamura et al. (2000), Gurler et al. (2000), Saita et al. (2004), dan Nakamura (2008), indeks kerentanan seismik diperoleh dengan mengkuadratkan nilai puncak spektrum mikrotremor dibagi frekuensi resonansi dan didapatkan persamaan (2.5).

$$K_g = \left(\frac{A_m^2}{f_0} \right) \quad (2.5)$$

Nilai K_g menunjukkan nilai pengukuran yang digunakan untuk menentukan tingkat ketahanan ataupun kerentanan dari lapisan tanah atau lapisan bumi. Nilai indeks kerentanan seismik dapat memberikan informasi potensi tingkat guncangan akibat gempa bumi pada suatu daerah. Efek lokal yang menyebabkan kerusakan saat gempa bumi berkorelasi dengan parameter HVSR mikrotremor, yang dicirikan oleh frekuensi dominan tanah (f_0) rendah (periode tinggi) dan faktor amplifikasi tanah (A_0) tinggi. Indeks kerentanan seismik (K_g) menunjukkan korelasi hubungan antara amplifikasi spektrum tanah (A_0) dengan frekuensi dominan (f_0).

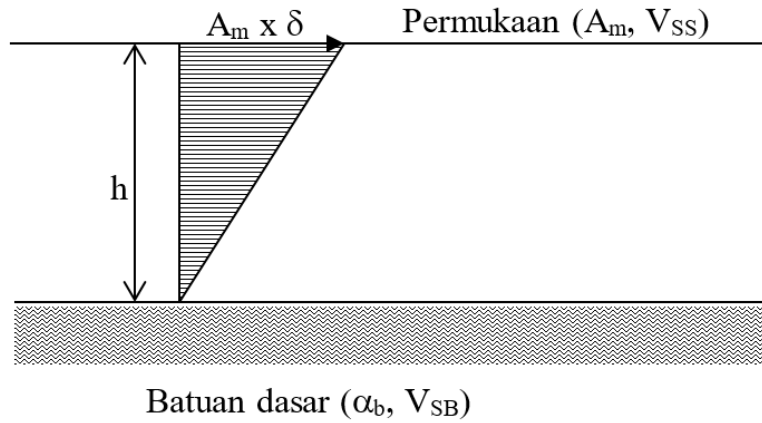
Selain Indeks kerentanan dan ketebalan lapisan sedimen, maka hal yang harus diperhatikan adalah menjelaskan penentuan nilai *shear strain* (γ) permukaan tanah. Pada saat suatu benda terkena gaya, maka benda tersebut akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk. Deformasi ini bisa dalam bentuk regangan atau tekanan. Kemampuan material penyusun tanah atau untuk saling meregang dan bergeser saat gempa bumi dinyatakan dengan regangan geser tanah (*ground shear-strain*).

Regangan geser tanah merupakan derajat distorsi elemen tanah yang umumnya di beri notasi γ , besarnya regangan ini dapat dinyatakan dalam rasio antara

perubahan horisontal dengan tinggi sample/elemen (Widodo, 2012). Penyederhanaan deformasi dari *shear-strain* permukaan tanah ditunjukkan oleh Gambar 2.10, sehingga nilai rata-rata γ dari permukaan tanah dapat diestimasi dengan persamaan (Nakamura, 1997; Nakamura et al., 2000a; Nakamura et.al, 2000b):

$$\gamma = A_m \times \delta / H \quad (2.6)$$

dimana nilai A_m merupakan factor amplifikasi, H adalah tebal lapisan permukaan (yang mengalami pelapukan), dan nilai δ adalah nilai *seismic displacement* dari dasar batuan (*bedrock*).



Gambar 2.10 Deformasi shear strain tanah permukaan (Nakamura, 1997)

Jika Kecepatan gelombang S pada dasar batuan disimbolkan dengan V_{sb} & V_{ss} , maka frekuensi natural (f_o) dapat didekati dengan persamaan:

$$f_o = V_{sb} / (4A_m \times H) \quad (2.7)$$

Percepatan pada dasar batuan α_b ditunjukkan dengan:

$$\alpha_b = (2\pi f_o)^2 \times \delta \quad (2.8)$$

γ dinyatakan dalam f_o , A_m dan V_{sb} , dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \gamma &= (A_m \times \alpha_b / (2\pi f_o)^2) \times (4A_m \times f_o / V_{sb}) \\ &= (A_m^2 / f_o) \times (\alpha_b / (\pi^2 V_{sb})) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Nilai *ground shear-strain* diperoleh dengan mengalikan antara indeks kerentanan seismik berdasarkan mikrotremor dengan percepatan di batuan dasar. Nilai percepatan di batuan dasar dari rumusan yang sederhana dipengaruhi oleh besarnya magnitudo gempa bumi dan jarak sumber dengan titik amat. Hubungan ini dapat digunakan untuk melihat hubungan antara magnitudo dan jarak epicenter gempa dengan besarnya regangan geser horisontal tanah.

Tabel 2.2 menunjukkan hubungan antara γ dengan kerusakan tanah akibat gempa yang dikumpulkan oleh Ishihara (1978) dalam Nakamura (1997). Tabel 2.2 menunjukkan bahwa $\gamma = 1000 \times 10^{-6}$, tanah mulai bersifat non linier (elasto-plastis), dan pada $\gamma \geq 10,000 \times 10^{-6}$ terjadi deformasi atau kelongsoran.

Tabel 2.2 Hubungan Nilai Shear Strain dengan Sifat Dinamis Tanah

Ukuran <i>strain</i> (γ)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}
Fenomena	getaran		<i>Crack</i> , penurunan		Longsoran, likuifaksi	
Sifat dinamis	elastisitas		Elasto-plastis		<i>Collapse</i>	
			Efek-berulang, efek pembebanan cepat			

Sumber: Nakamura (1997)

2.5 Analisis Statistik Data Tanah

Pendekatan statistik yang digunakan adalah dengan pengambilan keputusan berdasarkan koefisien varian (CV) dari suatu distribusi nilai parameter tanah.

Beberapa persamaan statistik yang digunakan antara lain (ITS,1998)

- Rata – rata

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.10)$$

- Standar Deviasi

$$STD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (2.11)$$

- Koefisien Varian

$$CV = \frac{STD}{\bar{X}} \times 100\% \quad (2.12)$$

Dimana U adalah nilai n data saat n , sedangkan \bar{x} adalah rata-rata . Distribusi sebaran suatu nilai dapat diterima jika harga koefisien varian (CV) dari sebaran tersebut bernilai lebih kecil atau sama dengan 30%. Apabila nilai koefisien varian (CV) lebih besar dari pada 30%, maka perlu dilakukan pembagian layer tanah sampai nilai CV tersebut kurang dari atau sama dengan 30%.

Adapun parameter yang tidak langsung dapat di Laboratorium seperti nilai Modulus Elastisitas dan Permeabilitas, digunakan korelasi sesuai dengan konsistensi tanahnya. Korelasi yang digunakan adalah dengan Tabel 2.3 dan Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Korelasi Nilai N SPT pada Tanah Kohesif

N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
γ (kN/m ³)	14-16	16-18	16-18	16-20	18-23
Qu (kPa)	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

Sumber : Bowles (1996)

2.6 Karakteristik Dinamis Sampah di TPA

Bahan limbah secara luas memiliki perbedaan dari jenis, komposisi, konsistensi serta keadaannya secara biokimia. Salah satu contoh limbah bisa seperti limbah alami, sampah rumah tangga, bahan bangunan, lumpur, atau sampah perkotaan dengan berbagai variasi. Umumnya, tipe sampah dibagi menjadi dua kelompok, yaitu limbah seperti tanah, didefinisikan sebagai "limbah granular", yang mana mekanika tanahnya menggunakan teori mekanika tanah konvensional, dan "limbah lainnya". (Lentini et al, 2012).

Tabel 2.4 Korelasi Nilai N SPT pada Tanah Kohesif

γ_d	e	n	wsat	γ_{sat}	K	Cv	mv =1/E
g/cm ³			%	1.31	cm/s	cm ² /s	cm ² /g
0.5	4.4	0.8	163	1.38	10 ⁻⁹	10 ⁻⁵	97.6
0.6	3.5	0.78	129	1.44			19.5
0.7	2.86	0.74	105.8	1.5	10 ⁻⁸	10 ⁻⁴	9.76
0.8	2.38	0.7	88	1.51		2	1.95
0.9	2.1	0.67	74.1	1.63	10 ⁻⁷	3	0.58
1	1.7	0.63	63	1.69	10 ⁻⁶	4	0.488
1.1	1.45	0.59	53.9	1.76	2	5	0.325
1.2	1.25	0.56	46.3	1.82	3	6	0.244
1.3	1.08	0.52	39.9	1.88	4	7	0.195
1.4	0.93	0.48	34.4	1.94	5	8	0.163
1.5	0.8	0.44	39.6	2.03	6	9	0.144
1.6	0.69	0.41	25.5	2.02	7	10 ⁻³	0.122
1.7	0.59	0.32	21.8	2.13	8		0.111
1.8	0.5	0.31	18.5	2.2	9	10 ⁻²	0.0976
1.9	0.42	0.3	15.6	2.26	10 ⁻⁵		0.0887
2	0.35	0.26	13	2.3	10 ⁻⁴	10 ⁻¹	0.815
2.1	0.29	0.22	10.6	2.32	10 ⁻³		0.075
2.2	0.23	0.19	8.4	2.39	10 ⁻²		0.07
2.3	0.17	0.15	6.4	2.45	10 ⁻¹		0.065
2.4	0.13	0.11	4.63	2.51			0.0488
2.5	0.08	0.074	2.96	2.57			0.0195
2.6	0.038	0.037	1.42	2.64			9.76 . 10 ⁻³
2.7	0	0	0	2.7			1.95 . 10 ⁻⁴

Sumber : J.E. Bowles (1996)

Lentini et al, 2012 juga menyatakan bahwa untuk berbutir halus, seperti limbah mekanis sifat - kompresibilitas, perilaku penyusutan dan pengembangan, kekuatan geser - ditentukan dengan menggunakan konvensional metode uji geoteknik konvensional. Namun untuk campuran dan limbah kasar seperti limbah kasar beberapa modifikasi peralatan pengujian yang diperlukan, yaitu kompresi tes pada sampel berskala besar. Untuk limbah lainnya, itu diperlukan untuk melakukan tes di lapangan di daerah percobaan secara langsung.

Parameter kekuatan geser tanah di TPA tidak mudah ditentukan, karena komposisi fisik campuran membuat ketidaksuaian hasil jika langsung menggunakan metode konvensional di laboratorium, sehingga kekuatan geser sampah perkotaan biasanya menggunakan studi literatur yang sudah pernah dilaksanakan sebelumnya.

Banyak sekali penelitian tentang parameter dinamis dari sampah rumah tangga, parameter itu meliputi nilai γ , kuat geser, Modulus Elastisitas, Dan nilai kecepatan gelombang sekunder. Khrisna (2009) melakukan penelitian terhadap nilai dinamis sampah perkotaan di beberapa TPA seperti ditunjukkan pada Gambar 2.11.

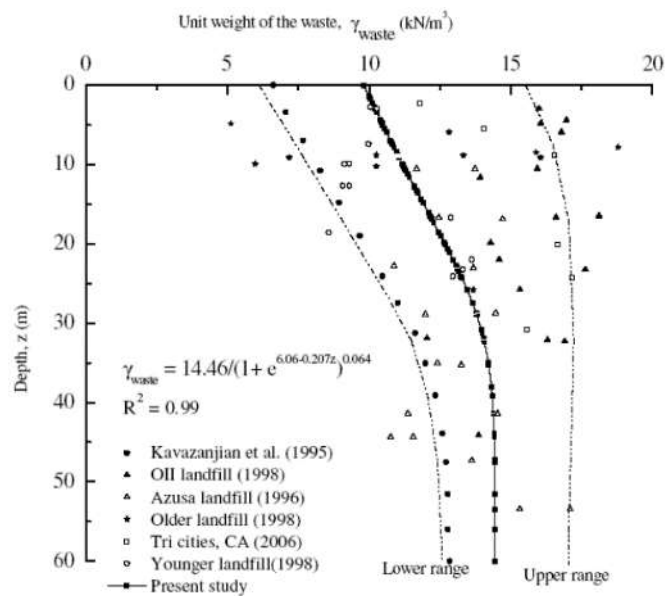
Secara praktis kepadatan di urugan dapat dihitung berdasarkan angka 0,60-0,65 ton/m³. Sedang kepadatan sampah di truk pengangkut sekitar 0,30-0,35 ton/m³. (Damahuri, 2008). Beberapa hasil rangkuman nilai γ untuk setiap timbunan sampah yang berbeda diberikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Tabel Hasil Nilai Berat Volume Sampah di Berbagai TPA

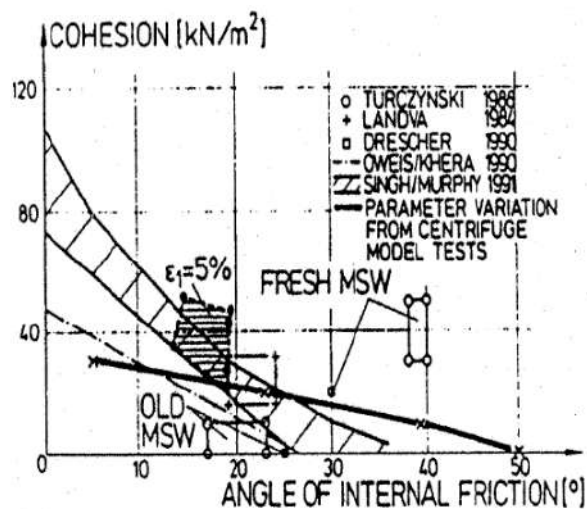
No	Referensi	Nilai Berat volume
1	Fasset et al (1994)	Unit weight of MSW ranges from 3 to 16 kN/m ³ depending on level of compaction mentioned below. Poor compaction – 3 to 9 kN/m ³ . Medium compaction – 5 to 8 kN/m ³ . Good compaction – 9 to 10.5 kN/m ³ .
2	Stark et al. (2000)	Total unit weight of MSW used in the slope stability analysis of Rumpke landfill is 10.2 kN/m ³ .
3	Pereira et al (2002)	Unit weight of MSW for Valdemingomez landfill is 5 kN/m ³ , estimated using test pit technique.
4	Caicedo et al. (2002)	The unit weight of MSW for Dona Juana landfill in Colombia is 9.1 kN/m ³ .
5	Geosyntec Consultants (2003)	Unit weight of MSW for 0–3 m is 5–10 kN/m ³ ; for 3–6 m is 7–17 kN/m ³ ; and for depths greater than 6 m is 7.7–15.5 kN/m ³ having an average value of 11.3 kN/m ³ , using in-situ unit weight tests.
6	Zekkos et al. (2006)	Unit weight of MSW for 37 different landfills are lied between 3 to 20 kN/m ³ Unit weight of MSW for 37 different landfills are lied between 3 to 20 kN/m ³ .
7	Zekkos et al. (2008)	Unit weight of 10 kN/m ³ at near ground surface and 16 kN/m ³ at depth, using boreholes for Tri-Cities landfill in Fremont, San Francisco.
8	Ramaiah et al.	Bulk unit weight of 11.41 kN/m ³ for Ghazipur landfill in Delhi, India and is estimated by water displacement method
9	(2016a)	Bulk unit weight of 10.5 kN/m ³ (Test Pit-1) and 13.5 kN/m ³ (Test Pit-2) for Okhla landfill in Delhi, India.
10	Abreu et al. (2016)	Unit weight ranges between 9 to 15 kN/m ³ for Sao Carlos sanitary landfill

Sumber: Ramakhrisna (2016)

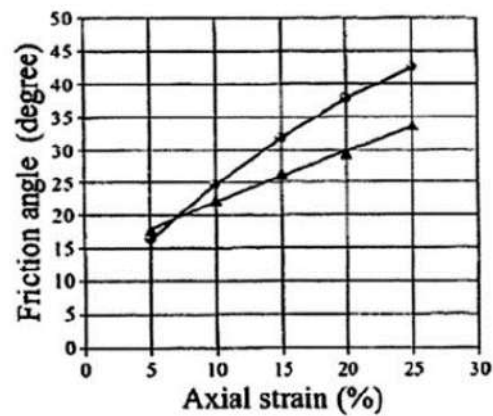
Dari Tabel 2.5 menghasilkan nilai γ yang berbeda, hasil yang menunjukkan bahwa nilai γ untuk setiap landfill berkisar antara 3-20 kN/m³. Sedangkan kekuatan geser dan nilai Modulus Elastisitas dari sampah perkotaan di Cina (Pinto, 2009) telah menghasilkan hasil yang ditunjukkan pada Gambar 2.12-2.13. Adapun rekapan untuk berbagai nilai parameter kuat geser seperti c (kohesi) dan ϕ diberikan pada Tabel 2.6.



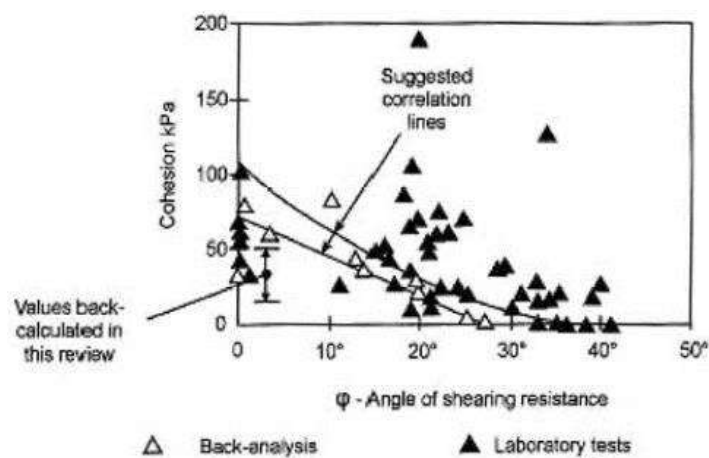
Gambar 2.11 Korelasi antara nilai γ dan kedalaman (Khrisna, 2009)



(a)



(b)



(c)

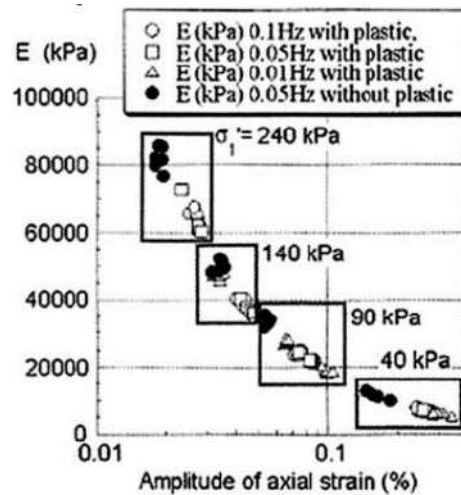
Gambar 2.12 (a) (b) (c) Nilai kekuatan geser sampah rumah tangga (Pinto, 2009)

Tabel 2.6 Nilai c dan ϕ dibeberapa TPA

Reference	Condition	Shear Strength Parameters	
		c' (kPa)	ϕ' (°)
Kavazanjian et al. (1995)	Normal stress, 0 – 30	24	0
	Normal stress, 30 – 300	0	33
Van Impe (1998)	Normal stress, 0 – 20	20	0
	Normal stress, 20 – 60	0	38
	Normal stress > 60	≥ 20	30
Eid et al. (2000)	Normal stress < 350	25	35
Dixon and Jones (2005)	----	5	25
Stark et al. (2008)	Normal stress < 200	6	35
	Normal stress ≥ 200	30	30
Bray et al. (2009)	----	15	36
Mohurd (2012)	Depth < 10 m	15 – 30	12 – 25
	Depth ≥ 10 m	0 – 10	25 – 33

Sumber : Ramakhrisna (2016)

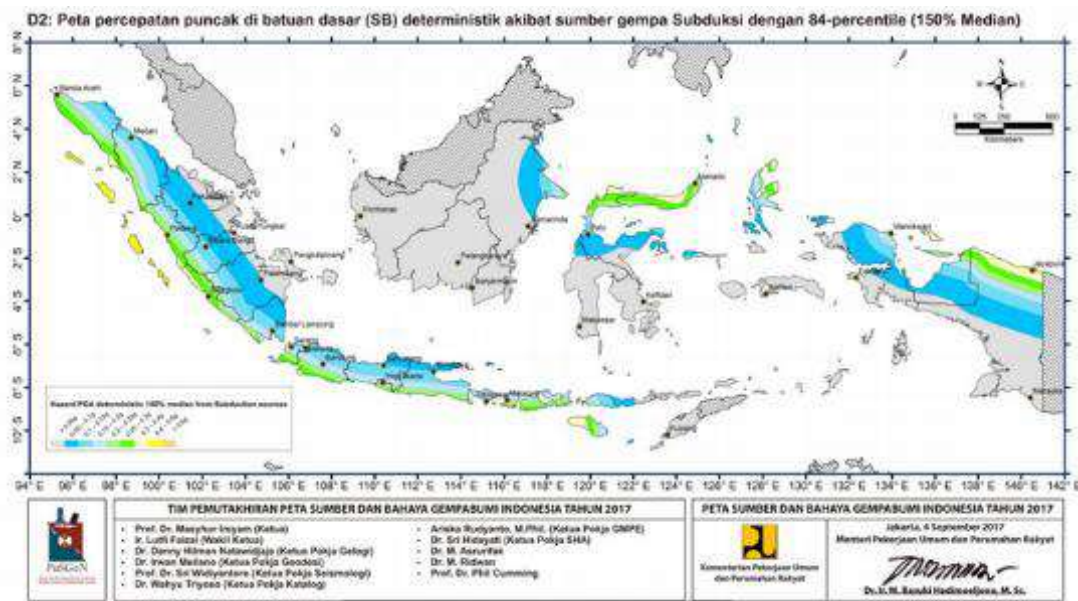
Dari Tabel 2.6 dihasilkan nilai yang berbeda untuk setiap TPA, nilai yang didapatkan untuk kohesi adalah berkisar 0-30 kPa dan ϕ adalah 0-33 kPa. Hal ini sesuai dengan karakteristik sampah yang dikumpulkan.



Gambar 2.13 Nilai E sampah perkotaan (Pinto, 2009)

2.7 Penentuan Parameter Beban Gempa

Perentuan nilai (*Peak Ground Acceleration*) PGA menggunakan Peta gempa Indonesia seperti ditunjukkan Pada Gambar 2.14. Dari Gambar 2.14 dapat diketahui bahwa nilai PGA dari daerah Gresik adalah 0.2g.



Gambar 2.14 Peta nilai PGA Indonesia (<http://puskim.pu.go.id>)

Bathurst and Hatami (1998) telah menentukan persamaan yang dapat merepresentasikan nilai percepatan akibat kenaikan dan penurunan PGA itu sendiri, persamaan dapat diberikan sebagai berikut :

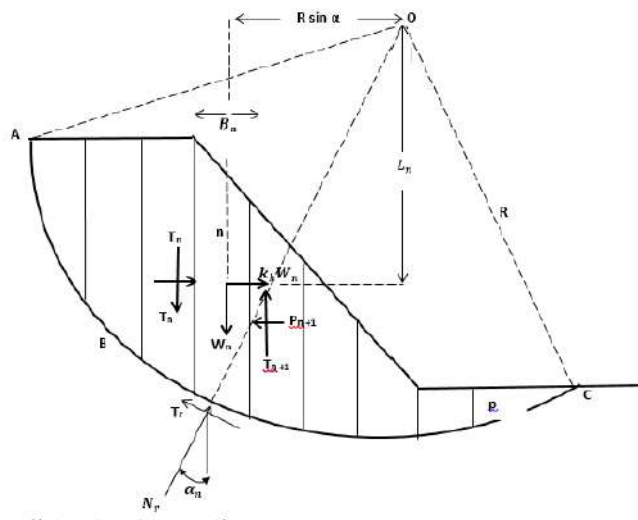
$$U(t) = \sqrt{\beta e^{-\alpha t} \cdot t^\zeta} \sin(2 \pi f t) \quad (2.13)$$

Dengan $\alpha = 5.5$ dan $\beta=55$ dan $\zeta=12$ merupakan kofisien tetap. Sedangkan f adalah frekuensi natural dari permukaan tanah. Dengan memasukan kelipatan $0.2g$ dalam persamaan sesuai dengan PGA gresik pada Gambar 2.14, maka akan didapatkan kurva akselerasi dan waktu untuk pemodelan pada Plaxis.

2.8 Analisis dengan program Bantu

2.8.1 Teori Dasar Kestabilan Lereng Akibat Gempa (Metode Irisan Konvensional)

Ada begitu banyak teori tentang kestabilan lereng, namun yang akan dibahas disini adalah metode irisan konvensional seperti pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Metode irisan konvensional (Sutarman, 2013)

Perhatikan bahwa ABC adalah busur dari lingkaran dengan pusatnya dititik O tanah di atas permukaan dibagi menjadi beberapa irisan. Panjang setiap irisan tidak perlu sama untuk lapis ke- n pertimbangkan ketebalan satuan di sudut kanan untuk penampang yang ditampilkan. Berat dan kekuatan inersia adalah masing-masing W_n dan $k_h W_n$. P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi

potongan T_n dan T_{n+1} , namun gaya P_n dan P_{n+1} , T_n dan T_{n+1} sulit untuk ditentukan. Jadi penahan gaya tangensial T_r dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\tau_r = \frac{1}{FS}(c B_n \sec \alpha + N_r \tan \phi) \quad (2.14)$$

$$\tau_r = \frac{1}{FS}(c B_n \sec \alpha + W_n \cos \alpha \tan \phi) \quad (2.15)$$

Sehingga

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^p (C B_n + \sec \alpha + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^p [W_n \sin \alpha_n + k_h W_n (L_n/R)]} \quad (2.16)$$

Dimana : k_h = koefisien gaya gempa horizontal; W = luas tiap irisan; c = kohesi; R = jari-jari longsor; h = tinggi rata-rata irisan; b = lebar irisan; x = jarak horizontal dari pusat massa irisan terhadap pusat moment; α = sudut kemiringan.

Safety factor memperhatikan tegangan geser rata-rata sepanjang bidang longsor dan kuat geser tanah rata-rata sepanjang permukaan longsor.

2.8.2 Teori Dasar Analisis Safety Factor dengan Geoslope

Analisis Stabilitas lereng yang diterapkan di Geoslope merupakan analisis dengan metode Pseudo static. Metode Pseudo Statik adalah merubah gaya yang timbul akibat beban gempa yang berbentuk dinamik menjadi statik dengan menerapkan gaya lateral yang bekerja melalui pusat massa, bertindak ke arah luar lereng. Analisis ini menggunakan metode kesetimbangan batas (*limit equilibrium method*). Keuntungan dari metode ini adalah mudah untuk dipahami dan mudah untuk diterapkan. Metode ini mengabaikan sifat siklik gempa dan menerapkan kekuatan statik tambahan atas lereng (Pujianto et al, 2017).

Nilai koefisien gempa dengan menggunakan metode pseudo statik ditunjukkan pada persamaan :

$$k_h = \frac{a_d}{g} \quad (2.17)$$

dimana k_h adalah koefisien gempa arah horisontal, a_d yaitu percepatan gempa permukaan terkoreksi (cm/det^2) dan g = gravitasi (cm/dtk^2).

Pada metode ini percepatan gempa vertikal diabaikan, karena pada umumnya

percepatan gempa vertikal lebih kecil dari percepatan gempa horisontal sehingga percepatan gempa vertikal tidak begitu menentukan dalam penghitungan gaya lateral yang bekerja pada lereng (Sutarman, 2013).

Adapun beberapa kelemahan dalam teori analisis ini dijabarkan oleh (Goro, 2007) adalah sebagai berikut :

- Koefisien seismik diambil dari percepatan gempa maksimum yang bekerja di permukaan tanah dibagi dengan gravitasi. Jadi tubuh timbunan dianggap sebagai kesatuan yang kaku (rigid body) yang sebenarnya tidak demikian kondisinya.
- Arah gaya gempa dianggap kearah luar lereng yang meningkatkan gaya longsor. Sebenarnya gaya gempa yang bekerja bersifat transient artinya arah gaya bergantian ke luar dan masuk lereng sesuai riwayat percepatan gempa.
- Perhitungan faktor keamanan dilakukan dengan cara keseimbangan batas, dimana tegangan, regangan dan alihan permanen dari suatu lereng yang longsor tidak dapat diperoleh.

Sehingga dari keterbatasan itu untuk mengetahui shear strain yang terjadi digunakan program Plaxis.

2.8.3 Analisis Dinamis Dengan Plaxis

Teori dasar perhitungan dinamis Plaxis mencakup persamaan dasar dinamis, *time integration*, *critical time step*, *dynamic integration coefficients*, Batasan model dan viskus, Tegangan awal dan kenaikan tegangan, respons dari amplifikasi, dan frekuensi natural dari getaran tanah. Analisis dinamik adalah beban yang besarnya (intensitasnya) berubah-ubah menurut waktu. Analisis dinamik dipakai untuk memperoleh hasil evaluasi yang lebih akurat dari gaya gempa. Tegangan-tegangan tersebut menghasilkan tegangan normal dinamik dan tegangan geser sepanjang daerah yang berpotensi longsor. (Pujiyanto, 2017)

Dalam analisis dinamis ini sangat tergantung pada integrasi waktu yang telah dilakukan. Getaran yang dihasilkan pada pemodelan terbatas pada kondisi plane-strain maupun axi-simetri. Model linear elastis dapat digunakan dalam

simulasi efek dinamis. Tidak seperti beban statis, pada pemodelan dinamis beban yang dimasukkan berupa beban dinamis dengan parameter waktu.

Saat menggunakan model Mohr-Coloumb atau model linear-elastis, nilai V_p dan V_s dihitung dari parameter elastisitas dan berat isi tanah. Nilai redaman yang dimasukkan juga harus dimasukkan pada parameter redaman reyleigh α dan β .

Beberapa hasil penelitian akibat gempa bumi Loma Prieta (Johnson et al 1991; Buranek dan Prasad, 1991; Sharma dan Goyal, 1991) dan Northridge gempa bumi (Matasovic dan Kavazanjian, 1996; Stewart et Al. 1994; dan Augello, 1995) bahwa desain TPA yang tidak memenuhi syarat kegempaan sangat membahayakan daerah sekitarnya. Dari beberapa kasus dapat dengan baik dipahami bahwa beberapa tipe mekanisme keruntuhan TPA adalah sebagai berikut.

- ✓ Sliding atau *shear distortion landfill* atau foundation atau keduanya;
- ✓ Penurunan pada TPA
- ✓ *Transverse and longitudinal cracks* pada lapisan tanah dasar
- ✓ Retak pada bagian slope
- ✓ Kerusakan pipa header sistem gas
- ✓ Kebocoran pada lapisan geomembran
- ✓ Gangguan TPA oleh gerakan sesar utama di permukaan tanah dasar
- ✓ Perbedaan gerakan Tektonik
- ✓ Retak diantara kontak antar material sampah

2.9 Penelitian terdahulu

2.9.1 Tempat Pembuangan Akhir, Gresik.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengetahui parameter sampah dan penyebaran air lindi pada kondisi eksisting di TPA ngipik. Agustina (2011) menyebutkan bahwa, nilai berat volume (γ) adalah sebesar 3 kN/m^3 dan kuat geser dengan nilai $c = 10$ dan $\phi = 15$. Sedangkan penelitian tentang air lindi juga telah dilakukan Arsyadi et al (2017) yang menerangkan jika ketika air lindi sudah masuk kebawah permukaan, arah aliran lindi akan berubah menjadi Selatan ke Utara searah dengan aliran bawah permukaan daerah TPA, serta identifikasi persebaran air lindi memiliki pola dari Tenggara – Barat Laut mengikuti kontur lokasi TPA.

2.9.2 Stabilitas Timbunan Sampah Saat Gempa

Gempa bumi yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir telah memberikan informasi mengenai pengaruh gempa tersebut terhadap tempat pembuangan sampah yang dirancang dengan baik. Selama gempa Northridge dua puluh dua Tempat pembuangan sampah, dengan energy sebesar 0,05 g, delapan tempat pembuangan sampah tempat pembuangan akhir geosynthetic (Augello et al., 1995) mengalami kerusakan . Kerusakan yang besar meliputi kerusakan lapisan penutup, retakan pada *interface* antara massa limbah dan permukaan tanah, dan perubahan dalam geometri TPA (misalnya *Cracking* ke *protection liner* di Chiquita Canyon TPA, California). Retakan itu mungkin disebabkan oleh perbedaan dinamika sifat limbah yang lebih fleksibel dan tanah berdekatan yang kaku (Bray et al., 1998).

Keruntuhan TPA Bulbul di Durban, Afrika Selatan terjadi pada tanggal 8 September 1997, dengan tipe keruntuhan rotasi dalam limbah padat. Jumlah sampahnya massa yang terlibat dalam kegagalan adalah sekitar 180.000 m³. Penyebab kegagalan yang dilaporkan adalah perkembangan *excess pore pressure* akibat akumulasi lindi dan air curah hujan lebat (Blight, 2004).

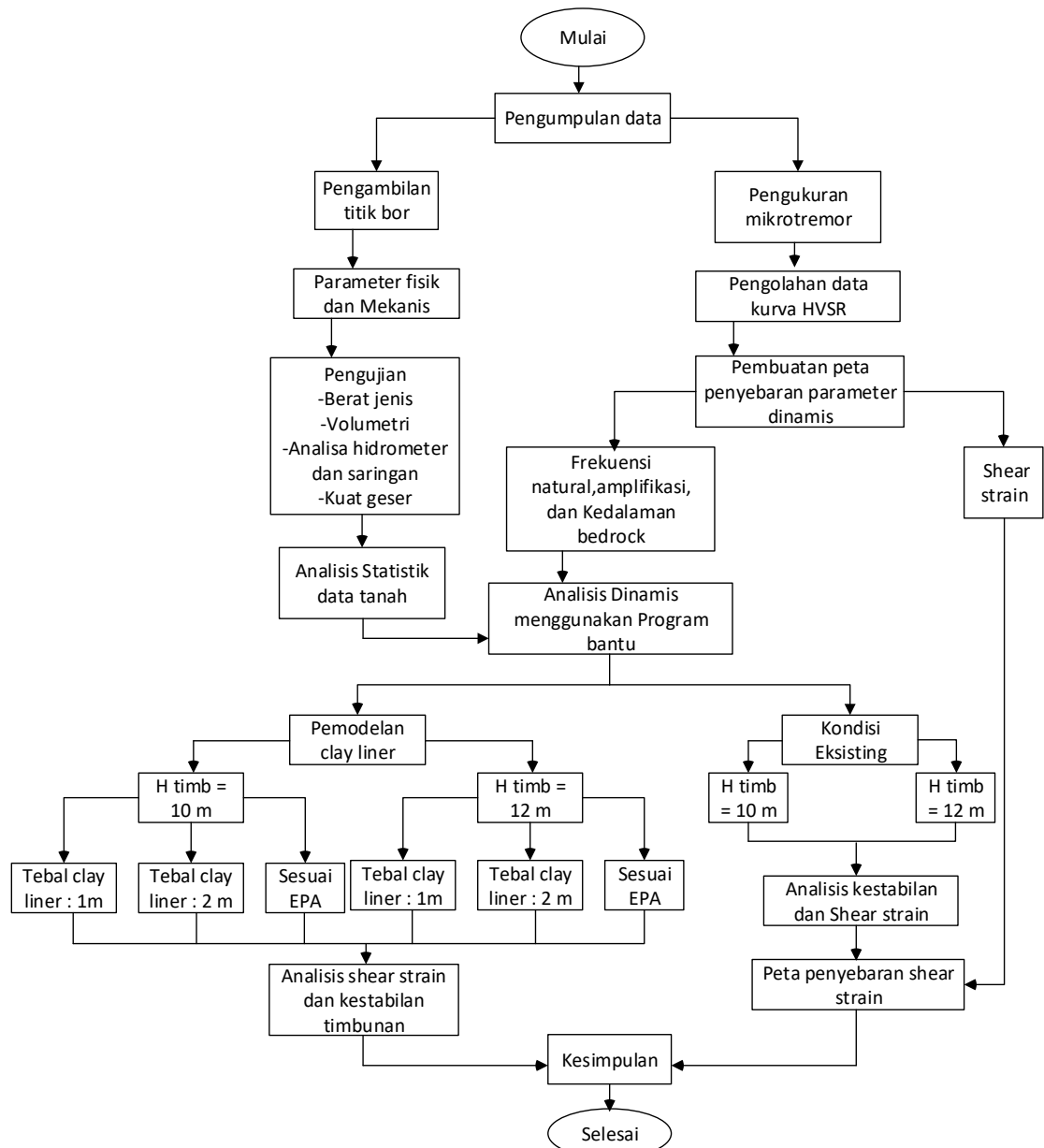
Keruntuhan dari TPA di Amerika Selatan terjadi pada tahun 1997 adalah keruntuhan translasi. Keruntuhan melibatkan limbah padat sekitar 1.200.000 m³ disebabkan permukaan bidang longsor melewati *interface* antara pasir dan geomembrane. Penyebab kegagalan yang paling mungkin terjadi adalah meningkatnya kadar lindi dalam massa limbah (Koerner dan Soong, 2000). Tempat TPA Liwajah di Bandung, Indonesia longsor pada tahun 2005. Kegagalan melibatkan sekitar 2.700.000 m³ limbah padat. Penyebab kegagalan adalah pengembangan tekanan air di tanah dasar karena curah hujan yang tinggi (Koelsch et al., 2005)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan seperti pada Gambar 3.1 dibawah ini:



Gambar 3.1 Bagan alir metode penelitian

3.2 Lokasi Pengukuran

Penelitian dilakukan di TPA Ngipik, Kabupaten Gresik. Kabupaten Gresik merupakan salah satu kabupaten di Jawa Timur yang mempunyai masalah pengolahan sampah di TPA. Kabupaten Gresik hanya memiliki satu fasilitas TPA yaitu di TPA Ngipik. TPA Ngipik terletak di area industri Petrokimia dan beroperasi sejak Tahun 2002 dengan luas total 6 ha yang terdiri luas zona pembuangan ± 4 ha, sedangkan sisanya digunakan untuk prasarana & sarana penunjang.

3.3 Pengumpulan Data Sekunder

Langkah awal yang harus diperhatikan yaitu mengumpulkan data sekunder berupa data gempa, peta geologi dan peta topografi daerah sekitar. Hal ini penting dilakukan untuk mendapatkan informasi awal dari karakteristik daerah yang ditinjau.

3.4 Pengambilan Tanah di Lapangan

Penyelidikan tanah di lapangan yang dilakukan adalah pengeboran. Penentuan titik boring ditentukan untuk mewakili wilayah yang nantinya sebagai pembandingan dengan hasil mikrotremor dengan hasil di lapangan. Ditentukan tiga titik boring.



Gambar 3.2 Lokasi titik bore pengujian

3.4.1 Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis

Pengujian sifat fisik dan mekanis adalah pengujian yang ditujukan untuk mengidentifikasi parameter fisik serta mekanis dimana pengujian ini meliputi :

- Pengujian kadar air
- Pengujian *volumetri-gravimetri*
- *Specific gravity*, berat volume tanah, angka pori dan porositas,
- Pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer
- Pengujian kuat geser berupa pengujian *unconfined*

3.4.2 Lokasi Pengujian dan Sebaran Titik Pengujian Mikrotremor

Lokasi Penelitian dibagi menjadi grid per 25 m, lalu setiap pertemuan grid akan membentuk suatu titik, dari titik ini lah yang akan dilakukan pengukuran mikrotremor yang menyebar di lokasi pengukuran. Lokasi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Lokasi pengukuran mikrotremor

Pengukuran mikrotremor didasarkan pada peta geologi dan hasil survey pendahuluan, yang kemudian akan digunakan untuk menentukan titik-titik lokasi yang dapat mewakili penggambaran geologi setempat.

3.4.3 Peralatan Mikrotremor

Untuk peralatan yang harus disiapkan dalam penelitian mikrotremor adalah:



(b)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.4 Peralatan mikrotremor (a) Mikrotremor (b) GPS (c) Aki 12 volt (d) Laptop

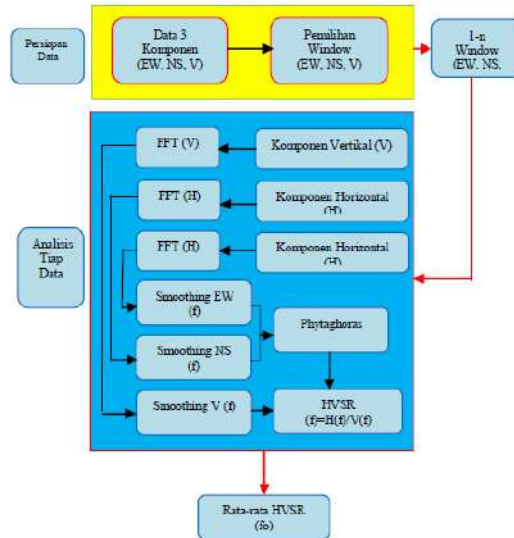
3.4.4 Pengolahan Data HVSR (*Horizontal to Vertikal Spectral Ratio*)

Dari hasil akuisisi data mikrotremor berupa *file seed*, diolah menggunakan program EASY HVSR. Pengolahan data menggunakan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) untuk mengetahui nilai frekuensi natural dan nilai amplifikasi sehingga dapat dihitung nilai kerentanan tanah. Adapun beberapa tahapan dari analisa hasil diberikan pada Gambar 3.5, dengan perincian sebagai berikut :

a. FFT (*Fast Fourier Transform*)

SESAME (2004) menganjurkan dalam analisis HVSR digunakan minimal 10 windows stasioner antara 20-50 detik non overlapping. Kemudian setiap windows dilakukan analisis spektrum Fourier yang berfungsi mengubah data mikrotremor awal berupa domain waktu (*time series*) ke domain frekuensi.

Algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan dalam analisis spektrum Fourier karena data awal akusisi dalam bentuk diskrit.



Gambar 3.5 Diagram pengelolaan kurva HSVR

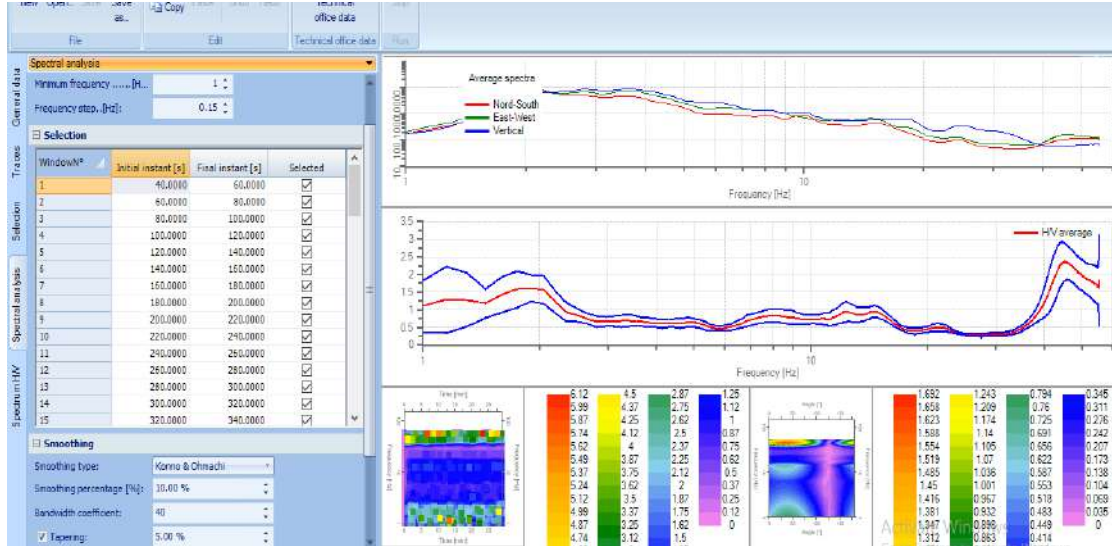


Gambar 3.6 Data awal mikrotremor berupa gelombang vertikal dan horizontal.

b. *Smoothing*

Untuk menghaluskan hasil proses FFT, digunakan filter smoothing Konno dan Ohmachi (1998) dengan koefisien bandwidth sebesar 40 dan cosine taper 5%. Persamaan analitik smoothing Konno dan Ohmachi secara umum terdapat pada persamaan 3.1 sebagai berikut:

$$W_p(f) = \frac{\sin\left[\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_c}\right)\right)^b\right]}{\left[\left(\log_{10}\left(\frac{f}{f_c}\right)\right)^b\right]^4} \quad (3.1)$$



Gambar 3.7 Data mikrotremor hasil pemilihan windows

c. Penggabungan Komponen Horizontal dan Vertikal

Penggabungan komponen horizontal dan vertikal data dianalisis kembali dengan metode HVSR (*Horizontal to Vertical Fourier Amplitude Spectral Ratio*) setelah terlebih dahulu dilakukan *smoothing* berupa rasio amplitudo spektrum *Fourier* horizontal dan vertikal. mengacu pada persamaan (3.2) Nakamura (2000).

$$R(T) = \frac{\sqrt{F_{NS}(T)^2 + F_{EW}(T)^2}}{F_Z(T)} \quad (3.2)$$

Dengan:

$R(T)$ = spektrum rasio vertikal terhadap horizontal (H/V)

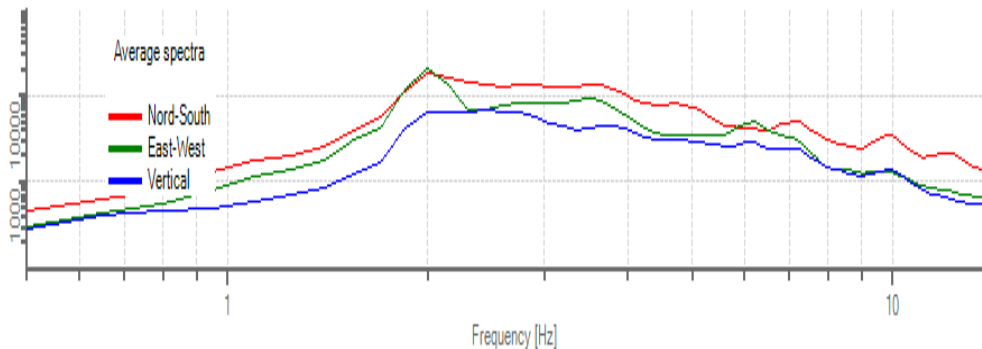
F_{NS} , F_{EW} dan F_Z secara berturut-turut Spektrum Fourier di NS , EW dan Z (vertikal)

d. Rata-rata HVSR dan Standar deviasi

Rata-rata spektrum HVSR diplot untuk setiap titik pengukuran setelah diperoleh spektrum HVSR masing-masing *windows*. Standar deviasi digunakan untuk mengetahui besar penyimpangan minimum dan maksimum dari hasil analisis HVSR yang mempunyai nilai realistis terhadap kondisi sebenarnya.

e. Frekuensi Natural (f_0) dan Amplifikasi (A_m)

Penentuan frekuensi natural dan amplifikasi didapat dari kurva HVSR. Frekuensi natural terletak dipuncak spektrum HVSR. Frekuensi natural dan amplifikasi ini akan digunakan untuk penentuan parameter indeks kerentanan.



Gambar 3.8 Gambar hasil akhir HVSR

3.5 Pengeplotan Nilai Frekuensi Natural, Amplifikasi, Kedalaman Lapsian Bedrock, dan Nilai Shear Strain

Dari analisis HVSR yang dilakukan dengan *software* Easy HVRS telah diperoleh sebaran nilai frekuensi natural dan amplifikasi, selanjutnya nilai-nilai yang diperoleh tersebut dipetakan menggunakan *software* surfer.

3.6 Analisis Hasil Mikotremor

Analisa dilakukan dengan melihat hubungan antara frekuensi natural, amplifikasi, dan indeks kerentanan tanah, dari hasil pengolahan data mikrotremor, karakteristik tanah, serta peta geologi dan topografi dimana semua parameter tersebut dapat digunakan untuk pemetaan mikrozonasi TPA Ngipik, sehingga dapat dipetakan area dengan potensi kerusakan terbesar dan sangat berpotensi mengalami penyebaran lindi akibat gempa.

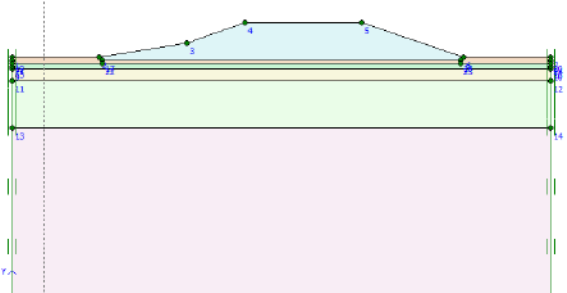
3.7 Analisis Statistik untuk Mengetahui Karakteristik Tanah

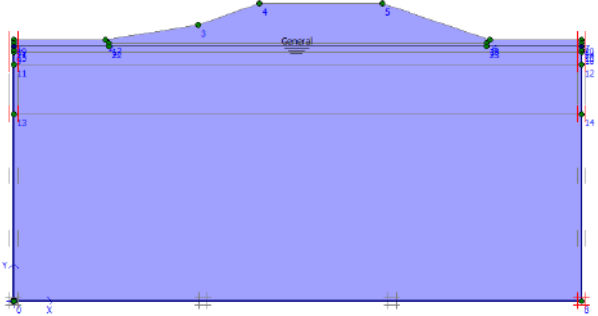
Pengolahan data karakteristik tanah berdasarkan data boring dari dilakukan analisis statistik untuk mendapatkan parameter yang tepat yang akan digunakan sebagai input data pada program bantu.

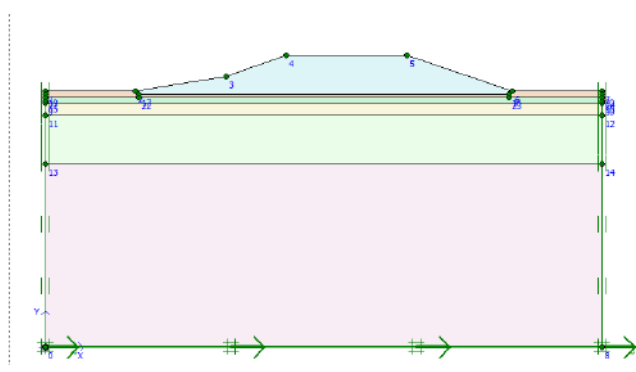
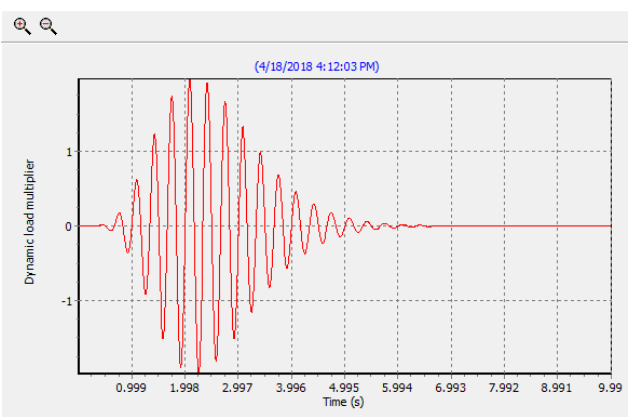
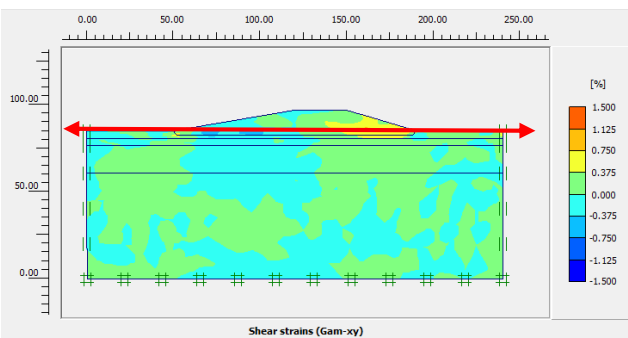
3.8 Analisa Seismik Terhadap Kestabilan Timbunan dan Shear Strain Tanah

Pemodelan timbunan menggunakan program Plaxis untuk mengetahui nilai shear strain, sedangkan untuk mengetahui nilai safety factor menggunakan program Geoslope. Selain parameter dinamis yang harus dimasukkan pada program Plaxis, kurva yang dimasukkan juga adalah kurva percepatan dan waktu, sesuai dengan data gempa yang sudah ada. Pemodelan timbunan dibagi menjadi beberapa ketinggian yaitu 10, dan 12 m dengan memodelkan untuk beberapa profile tertentu. . Langkah input pemodelan diberikan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1 Tabel Langkah Pemodelan Menggunakan Plaxis

Langkah	Input	Keterangan
1	Input geometri timbunan	<p>Pemodelan timbunan berdasarkan beberapa pemodelan dengan ketinggian dan geometri yang berbeda</p> 
2	Input parameter tanah	<p>Pemodelan menggunakan model Mohr column, dan memasukkan parameter γ_{sat}, γ_{unsat}, cohesi (c), sudut geser tanah (ϕ), Elastisitas (E), Permeabilitas (K_x dan K_y)</p>

		<div data-bbox="764 280 1355 692"> <p>Mohr-Coulomb - 0-4</p> <p>General Parameters Interfaces</p> <p>Material set</p> <p>Identification: 0-4</p> <p>Material model: Mohr-Coulomb</p> <p>Material type: Drained</p> <p>Comments</p> <p>General properties</p> <p>γ_{unsat}: 16.980 kN/m³</p> <p>γ_{sat}: 16.980 kN/m³</p> <p>Permeability</p> <p>k_x: 1.852E-03 m/day</p> <p>k_y: 1.852E-03 m/day</p> <p>Advanced...</p> </div> <div data-bbox="764 723 1355 1095"> <p>General Parameters Interfaces</p> <p>Stiffness</p> <p>E_{ref}: 9135.000 kN/m²</p> <p>ν (nu): 0.000</p> <p>Strength</p> <p>c_{ref}: 15.000 kN/m²</p> <p>ϕ (phi): 0.000 °</p> <p>ψ (psi): 0.000 °</p> <p>Alternatives</p> <p>G_{ref}: 1567.500 kN/m²</p> <p>E_{oed}: 3135.000 kN/m²</p> <p>Velocities</p> <p>V_s: 30.080 m/s</p> <p>V_p: 42.540 m/s</p> <p>Advanced...</p> </div>
3	Standar fixities, Mesh area, dan initial condition	<p>Memastikan agar pemodelan yang dibuat sesuai dengan geometri yang telah direncanakan dan dibagi menjadi mesh mesh tertentu dan kondisi awal (muka air tanah - 2m) sesuai dengan kondisi awal dilapangan.</p> 
4	Input Dynamic Load	<p>Memasukan prescribed load disepanjang lapisan bedrock akhir sesuai dengan setiap pemodelan cross section timbunan.</p>

		
5	Memasukan dynamic Phase	<p>Setelah phase initial condition dilanjutkan dengan phase dynamic dengan memasukan beban gempa berupa kurva akselerasi vs waktu yang telah dianalisa sebelumnya, time interval sebesar 10 detik, dan time integration.</p> 
6	Output pengeluaran shear strain	<p>Setelah running dan mendapatkan hasil dari analisis dynamic, masuk ke shear strain dan ambil potongan tepat pada bagian bawah permukaan timbunan, lalu munculkan tabel hasil nilai shear strain.</p> 

Setelah didapatkan hasil analisis dari kondisi eksisting, maka dimodelkan beberapa kondisi clay liner pada lapisan bawah timbunan. Clay liner yang dimodelkan di bagi menjadi 2 kategori, yang pertama adalah melihat perilaku apabila lapisan tanah disekitar timbunan diganti sesuai dengan parameter clay liner, namun tanah yang diganti hanya bagian samping saja, tidak termasuk bagian bawah timbunan. Kondisi kedua adalah pemodelan dimana lapisan tanah diganti sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan oleh EPA, yaitu 2m. Adapun karakteristik timbunan sampah dan clay liner yang digunakan dengan mempertimbangkan hasil penelitian sebelumnya (agustina, 2011) dan Clay liner sesuai peraturan EPA adalah pada Tabel 3.2 :

Tabel 3.2 Parameter Clay Liner dan Sampah untuk Pemodelan Plaxis

Jenis	k (m/day)	C reff	φ	γ (kN/m ³)	μ	E
Clay liner	0.00864	30	0	13.1	0.35	4500
Sampah	3.58×10^{-2}	10	15	3	0.25	1200

Setelah di analisa menggunakan parameter dinamis dengan geometri timbunan yang telah direncanakan, maka di analisis kestabilan dan besarnya *shear strain* yang terjadi sehingga dapat dibuat peta penyebaran nilai shear strain dari mikrotremor maupun dengan program Plaxis, dan safety factor dari program Geoslope. Dari hasil tersebut dapat dilihat area yang berpotensi mengalami kerusakan yang lebih besar dan dapat menyebabkan kebocoran dan penyebaran lindi.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

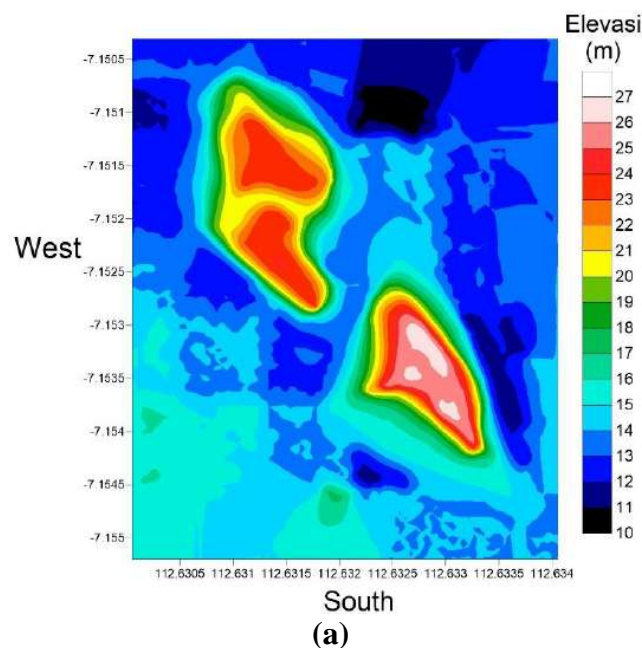
4.1 Analisa Data

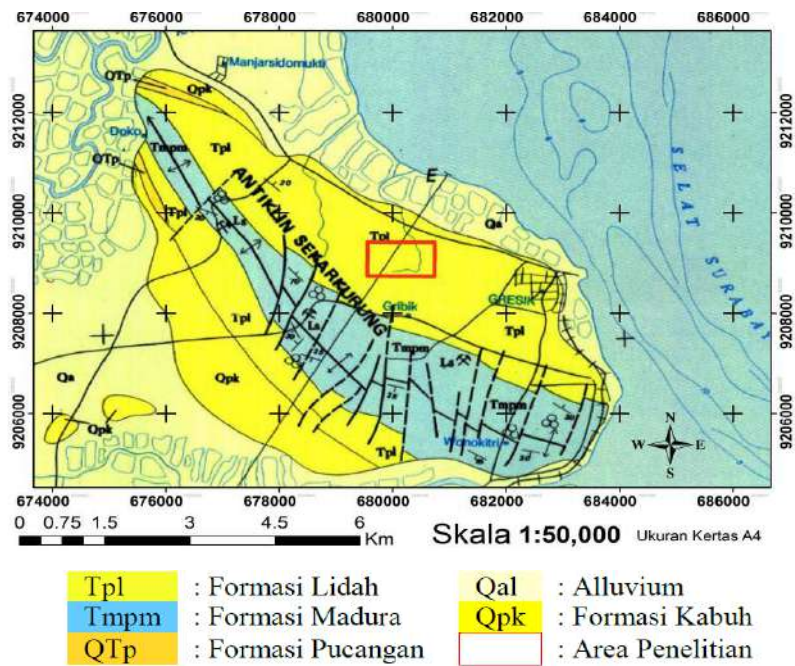
Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini adalah data Topografi, Data Geologi, data hasil pengeboran di lapangan, dan data hasil pengujian mikrotremor. Pengeboran dilakukan di 3 titik, sedangkan pengujian mikrotremor dilakukan dengan grid 25m. Data parameter fisis dan mekanis tanah didapatkan dengan pangujian laboratorium.

4.1.1 Data Topografi dan Geologi

Data topografi dan Geologi dari lokasi penelitian diberikan pada Gambar 4.1. Dari hasil data topografi yang didapatkan, diketahui bahwa lokasi TPA ngipik mempunyai 2 titik timbunan sampah yaitu timbunan sampah dengan ketinggian 12m dan 10m.

Sedangkan data Geologi menunjukan TPA Ngipik berada di dalam Formasi Lidah dengan umur Quarter, tersusun atas batu lempung biru, batu lempung kehitaman, pejal dan keras bila kering, sedikit kandungan fosil serta batu lempung pasiran (Arsyadi, 2017).





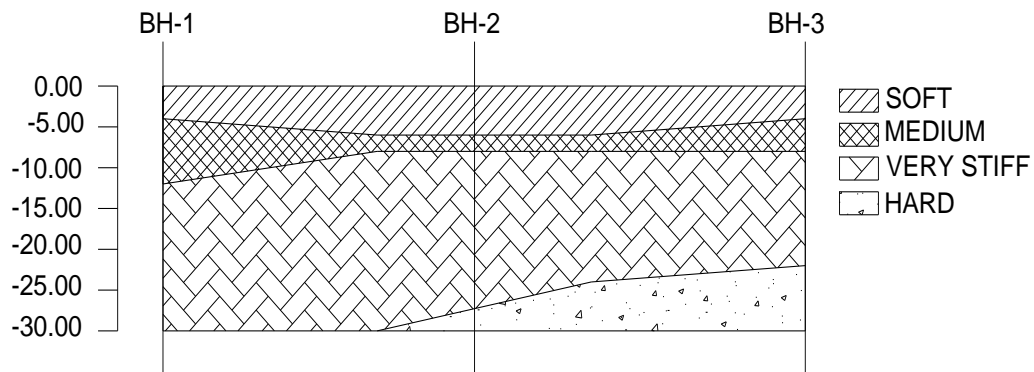
(b)

Gambar 4.1 (a) Topografi TPA Ngipik (b) Geologi Gresik (Sukardi,1992)

4.1.2 Pengolahan Data Hasil Pengeboran

4.1.2.1 Stratigrafi Tanah

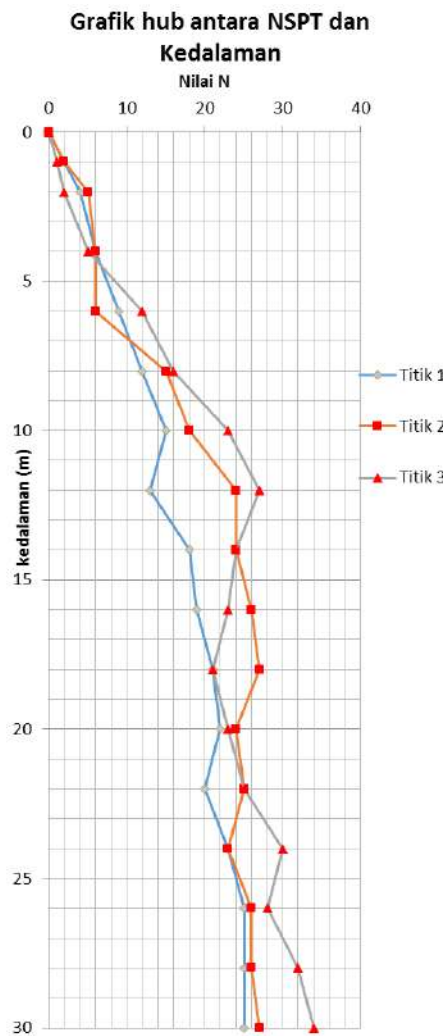
Dari hasil pengujian 3 titik bor dilapangan dilakukan evaluasi dengan cara membuat stratigrafi tanah dan pengelompokan berdasarkan jenis dan konsistensi tanah. Pembagian layer tanah dilakukan setiap 2,0 m untuk mendapatkan nilai yang lebih detail. Stratigrafi yang didapatkan dari hasil pengolahan diberikan pada Gambar 4.2.



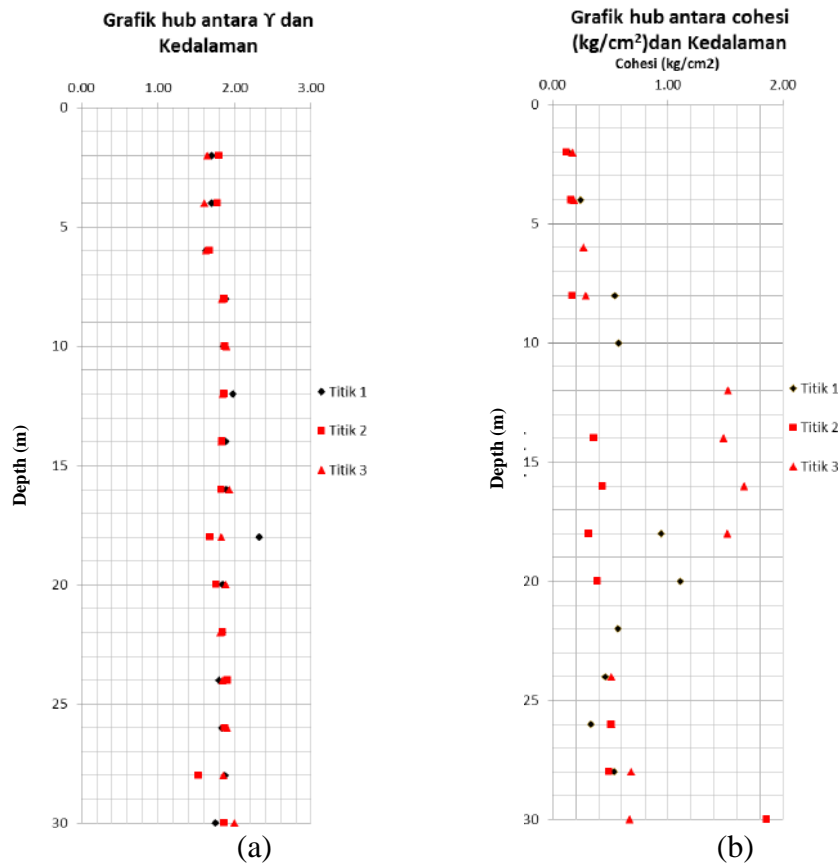
Gambar 4.2 Stratigrafi tanah di lokasi TPA Ngipik.

Hasil pengujian NSPT pada 3 titik bor memberikan hasil konsistensi *Soft* pada kedalaman 2-4m, *Medium* di kedalaman 4-8m, *stiff* dan *hard* hingga kedalaman 30m (*end of boring*). Rekap NSPT diberikan pada gambar 4.3.

Hasil analisa statistik parameter γ menunjukkan hasil berariasi yaitu berkisar 1,69-1,83 t/m³, sedangkan parameter kohesi berkisar 22,17-56.09 kN/m². Grafik antara persebaran parameter γ dan kohesi berdasarkan kedalamannya diberikan pada Gambar 4.4 a dan Gambar 4.4 b



Gambar 4.3 Nilai NSPT untuk setiap titik bor.



Gambar 4.4 (a) Nilai γ & kedalaman (b) Nilai kohesi & kedalaman.

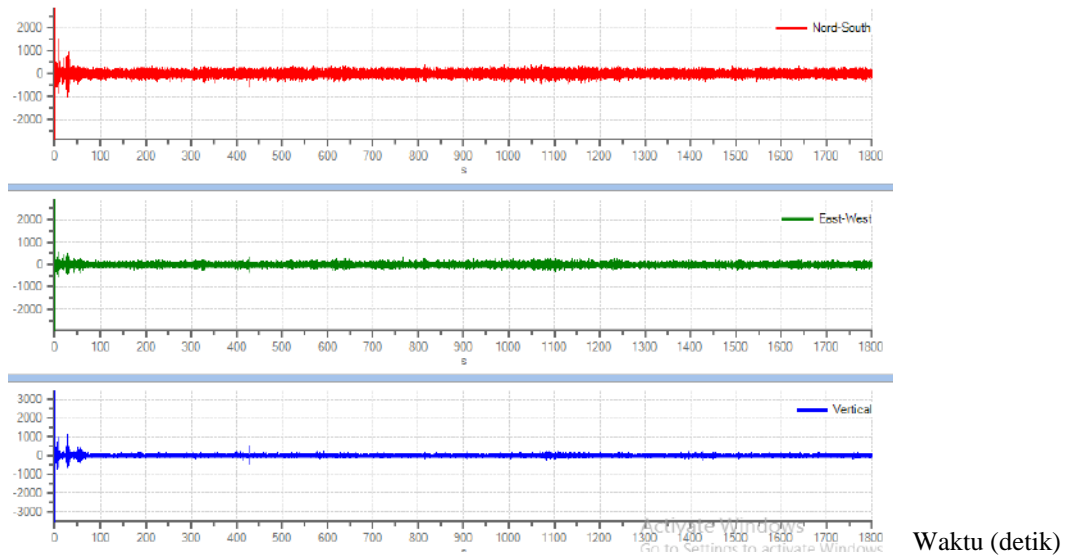
Beberapa parameter yang dibutuhkan seperti nilai Poisson rasio, Elastisitas, dan yang lainnya yang tidak bisa didapatkan secara langsung dari hasil pengujian di Laboratorium, digunakan persamaan korelasi yang ada pada Tabel 2.3 dan 2.4 untuk mendapatkan parameter berikut. Data hasil analisa perhitungan diberikan secara lengkap di lampiran 1 halaman 79. Rekap Seluruh hasil dari parameter tanah diberikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekap Hasil Parameter Tanah

Lay er	Kedalaman (m)	H (m)	Deskripsi	k (m/day)	Cohesi (kN/m^2)	γ (kN/m^3)	ϕ	μ	m_v	E (kN/m^2)
1	0 - 4	4	Clay	0.001852	15	16.98	0	0.3	0.319	3135
2	4 - 8	4	Clay	0.003309	24.08	18.08	0	0.3	0.208	4808
3	8 - 24	16	Clay	0.004032	42.10	18.58	0	0.3	0.15	6667
4	24 - 30	6	Clay	0.003741	56.09	18.37	0	0.3	0.16	6250

4.1.3 Pengolahan Data Mikrotremor Tanah

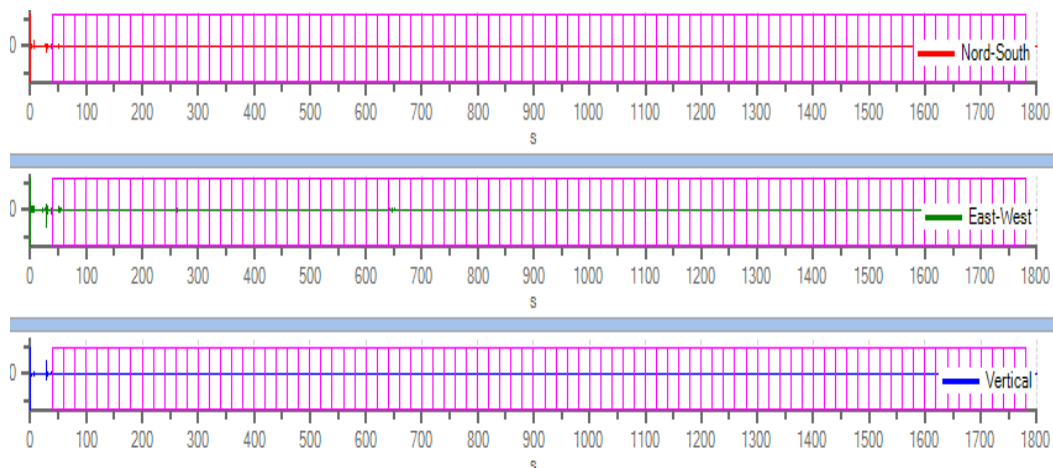
Data pengolahan mikrotremor hasil pengukuran lapangan adalah berupa data seismogram 3 komponen dengan ekstensi file .Seg2. Contoh Data yang diolah adalah dari data rekaman Titik 3, pengukuran ini dilakukan selama 30 menit. Bentuk data mentah hasil perekaman mikrotremor diberikan pada Gambar 4.5:



Gambar 4.5 Pengolahan data titik pengukuran di Titik 18

Gambar 4.5 merupakan data awal mikrotremor titik pengukuran di Titik 18 menggunakan analisis *software* Easy HVSr. Dari gambar tersebut terlihat bahwa masih banyak *windows* yang mengandung noise, sehingga dibutuhkan pemilihan *windows* yang tidak mengandung noise karena dikhawatirkan sinyal yang ditangkap bukan merupakan sinyal dari aktivitas getaran antar partikel tanah itu sendiri, melainkan mungkin karena aktivitas manusia (*noise anthropogenic*).

SESAME (2004) telah menetapkan kriteria analisa HVSr, yaitu berdasarkan frekuensi natural yang dituju. Salah satu kriteria yang ditetapkan adalah *windows* yang dianalisa harus berupa data yang stasioner (bebas *trigger*) dan menggunakan overlapping antar window sebesar 10 %, hal ini dilakukan untuk mengantisipasi jika data stasioner yang dianalisis kurang memenuhi kriteria. Hasil pemilihan *windows* diberikan pada Gambar 4.6.

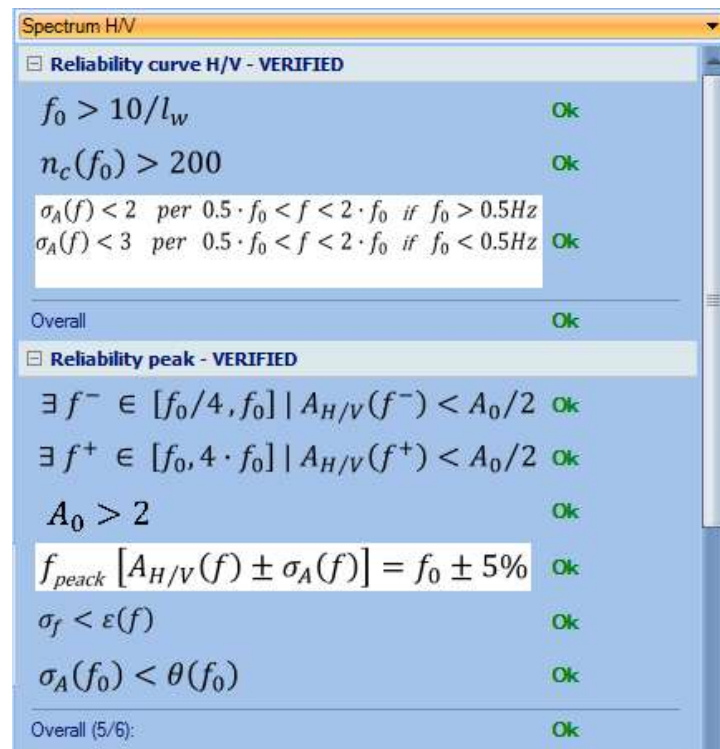


Gambar 4.6 Pemilihan window pada Titik 18

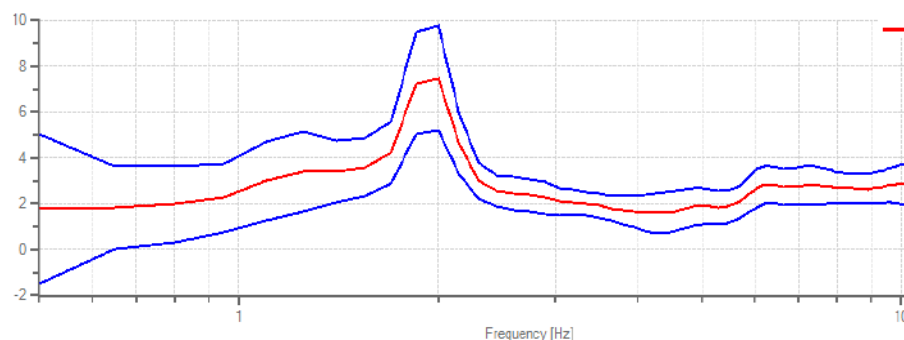
Gambar 4.6 menunjukkan proses analisis spektrum H/V yang menggunakan fungsi *tapering* menggunakan taper cosin sebesar 5% dengan koreksi *smoothing* konno & Ohmachi (1998)) dengan koefisien bandwidth sebesar 40. Output dari analisa program ini adalah berupa Amplifikasi dan Frekuensi natural dari tiap titik pengujian. Seluruh analisa kurva HVSR untuk semua titik diberikan pada Lampiran 2 halaman 89.

Kurva HVSR merupakan fungsi transfer antara getaran gelombang pada sedimen dan *bedrock*, sehingga amplitudo dan puncak frekuensi pada kurva HVSR merepresentasikan amplifikasi dan frekuensi natural daerah setempat (Sungkono, 2011).

Setelah mengolah data windows yang dipilih, maka didapatkan grafik spectra H/V untuk masing-masing titik. Grafik Spektra yang didapatkan dari hasil pemilihan windows harus memenuhi kriteria, Software ini langsung menganalisa apakah data windows yang dipilih membentuk Spektra *reliabel* atau tidak. Contoh analisa kriteria reliabel diberikan pada Gambar 4.7 sedangkan hasil dari kurva Spektra H/H diberikan pada Gambar 4.8. Selanjutnya, dengan mengetahui frekuensi tersebut, dapat diketahui karakter penjalaran dan amplifikasi gelombang di bawah permukaan setempat.



Gambar 4.7 Syarat kriteria reliabel kurva spektra H/V Titik 3



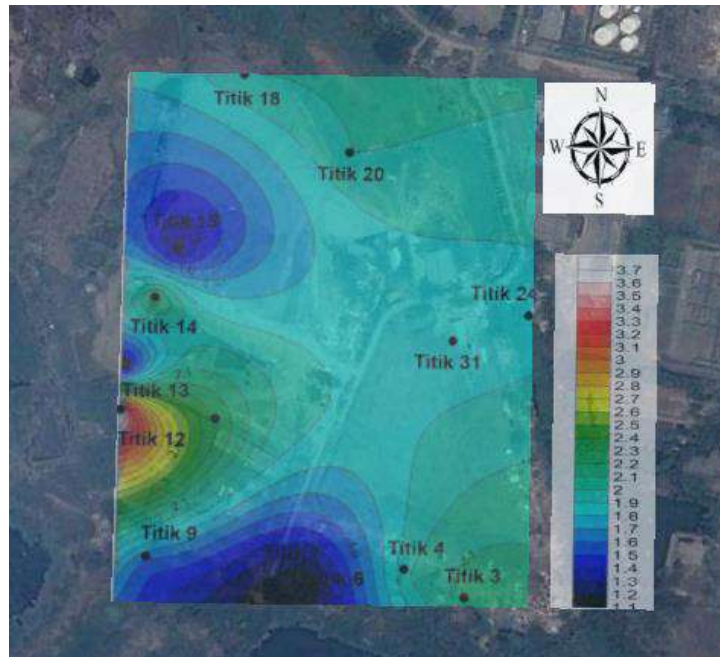
Gambar 4.8 Grafik spektrum Titik 3

4.2 Pembahasan analisis Mikrotremor

4.2.1 Analisis Frekuensi Natural Tanah

Dari hasil Analisis data didapatkan hasil pemetaan Frekuensi natural seperti ditunjukkan pada Gambar 4.9. Frekuensi natural tanah pada lokasi TPA ngipik berikisar 1.1-3.65 Hz. Secara keseluruhan frekuensi natural yang mendominasi

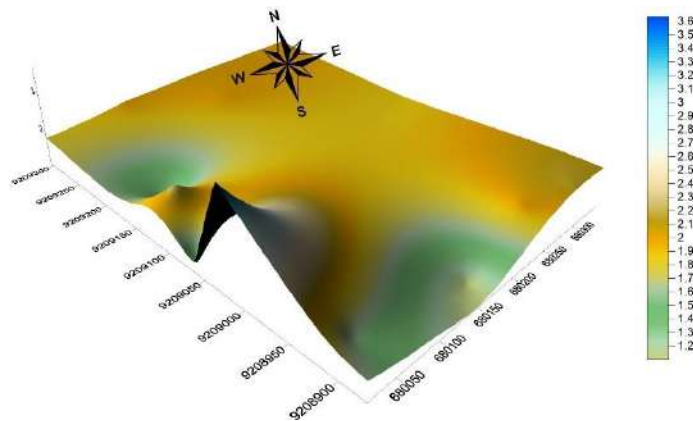
lokasi ini adalah 1.7-2 Hz. Daerah dengan warna biru tua menunjukkan nilai frekuensi yang rendah sedangkan frekuensi yang lebih tinggi ditunjukkan dengan warna merah atau putih.



Gambar 4.9 Peta kontur persebaran frekuensi natural

Frekuensi natural atau frekuensi dominan merepresentasikan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi natural dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen bawah permukaan. Frekuensi natural berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (bedrock) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Nilai frekuensi natural suatu daerah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk (H) dan kecepatan bawah permukaan (V_s) (Mucciarelli et al, 2008). Sungkono (2011) mendukung penelitian tersebut dengan memberikan hubungan antara frekuensi rata-rata (V_s) adalah berbanding lurus, dan berbanding terbalik dengan kedalaman bedrock.

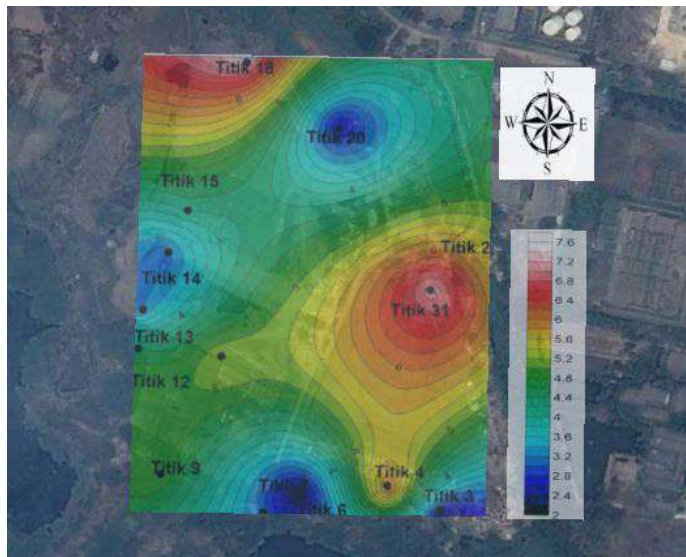
Pada area Barat Laut lokasi menunjukkan Frekuensi yang lebih rendah berada di arah Selatan dan Barat Laut lokasi TPA, sehingga pada area tersebut cenderung memiliki kedalaman bedrock yang berbeda dengan area lain. Peta persebaran frekuensi natural ini digambarkan secara 3D seperti Gambar 4.10 berikut.



Gambar 4.10 Peta 3D persebaran frekuensi natural

4.2.2 Analisis Amplifikasi Tanah

Setelah menganalisis data hasil frekuensi natural, parameter penting lainnya adalah data amplifikasi. Persebaran nilai amplifikasi diberikan pada Gambar 4.11. Hasil dari sebaran nilai amplifikasi menunjukkan nilai amplifikasi berkisar 2.0-7.5, Nilai amplifikasi yang lebih tinggi berada di area Timur dan sedikit di area utara lokasi.

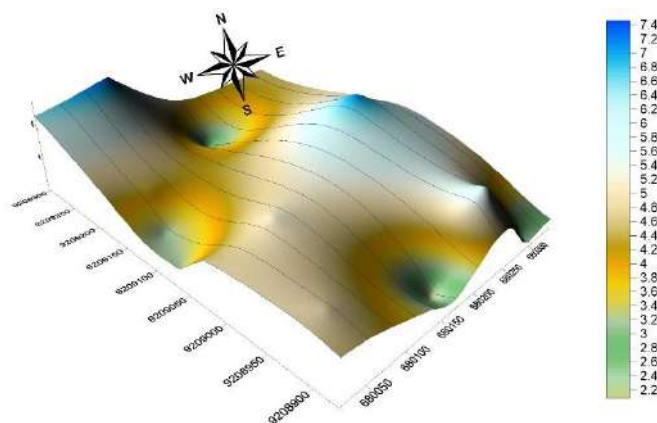


Gambar 4.11 Sebaran nilai amplifikasi

Menurut Warnana (2011) amplifikasi lebih dominan dipengaruhi oleh faktor geologi. Nilai amplifikasi berbanding lurus dengan kecepatan gelombang,

semakin besar nilai amplifikasi maka semakin besar kecepatan gelombangnya, sehingga dapat dikatakan bahwa amplifikasi juga berhubungan erat dengan kepadatan batuan, karena batuan yang kurang padat akan mempercepat durasi gelombang yang menjalar sehingga meningkatkan nilai kecepatan gelombang, hal ini akan mengakibatkan bertambahnya nilai amplifikasi (Hartati, 2014).

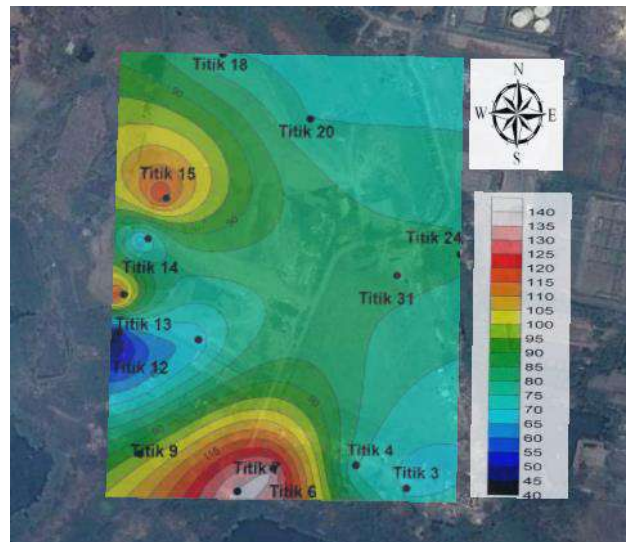
Nakamura *et al* (2000) menyebutkan bahwa parameter amplifikasi yang dapat merusak bangunan adalah berkisar antara >3 dan dengan nilai frekuensi yang rendah. Sehingga jika dikorelasikan dengan hasil peta persebaran frekuensi natural maka pada beberapa titik di daerah Timur dan sedikit dibagian utara memiliki resiko paling besar terhadap kerusakan apabila didirikan bangunan atau infrastruktur lainnya. Hasil sebaran amplifikasi diajukan secara 3D pada gambar 4.12 berikut.



Gambar 4.12 Sebaran nilai amplifikasi dalam 3D surface

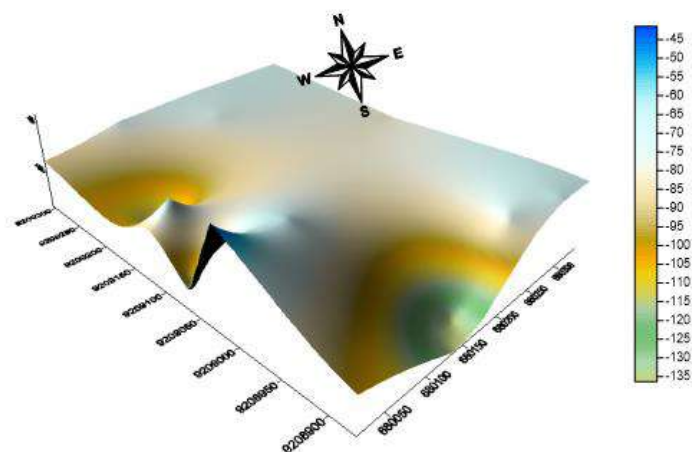
4.2.3 Sebaran Ketebalan Lapisan Sedimen (H)

Dari nilai frekuensi natural dan amplifikasi maka dapat diketahui tebal sedimen di lokasi dengan Persamaan (2.4). Nilai ketebalan sedimen yang dihasilkan adalah berkisar 88-136m. Dari perhitungan hasil tersebut, Peta sebaran ketebalan sedimen dapat disajikan seperti pada gambar 4.13 dibawah ini.



Gambar 4.13 Sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen

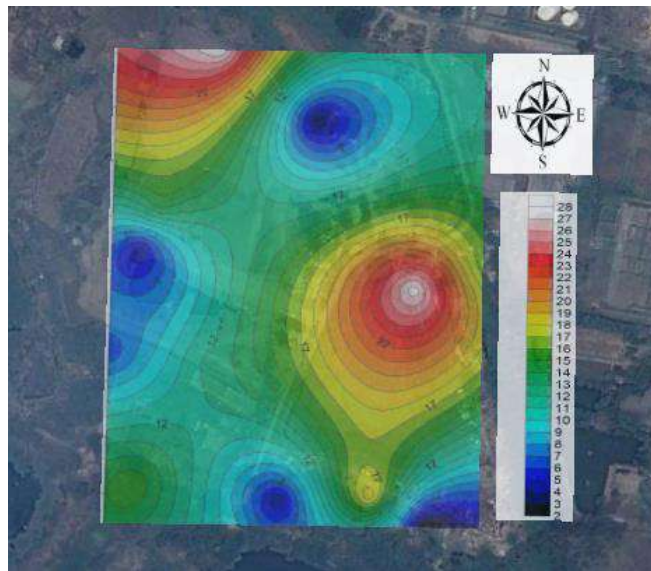
Ketebalan sedimen yang didapatkan sesuai dengan Formasi Geologi dari Lokasi TPA itu sendiri yang ditunjukkan pada Gambar 4.1b, yaitu formasi lidah dengan ketebalan lapisan lempung yang cukup tebal. Selain itu, hal ini juga dibuktikan dengan hasil 3 Titik Bor dilapangan yang menyatakan bahwa kondisi tanah pada kedalaman 30m merupakan tanah lempung dengan $NSPT < 35$. Ketebalan sedimen sangat bervariasi, namun sedimen yang sangat tebal terletak pada bagian selatan dan Barat laut lokasi. Peta persebaran 3D *surface* pada gambar 4.14 dibawah ini.



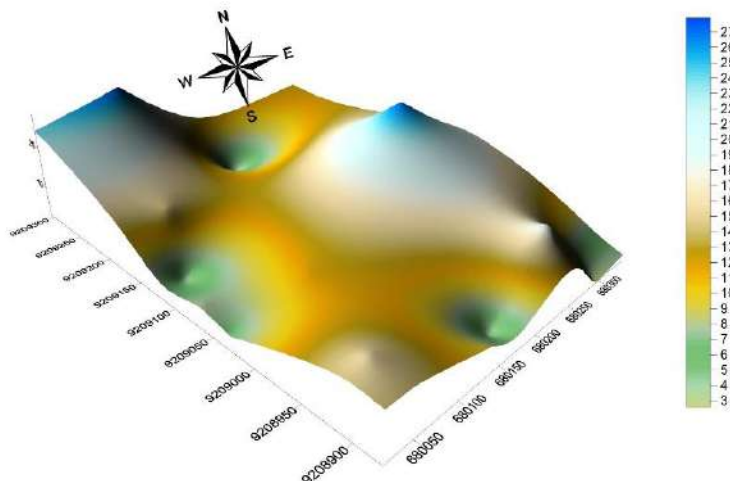
Gambar 4.14 Sebaran nilai ketebalan lapisan sedimen dalam 3D surface

4.2.4 Sebaran Indeks Kerentanan Tanah (K_g) dan Nilai Shear Strain

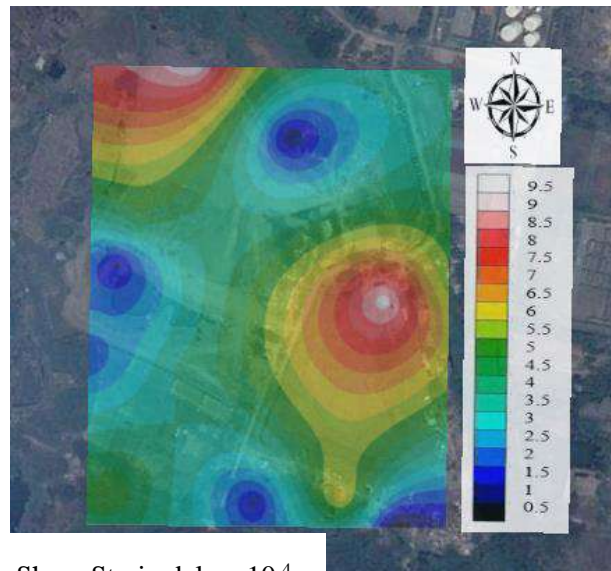
Nakamura (1997) mengusulkan Indeks kerentanan tanah (K_g) dan Shear Strain untuk mengidentifikasi daerah mana yang bahaya dan kerusakan lebih besar ketika terjadi gempa. Perhitungan nilai shear strain untuk mengetahui sifat dinamis tanah apabila terjadi gempa dihitung menggunakan Persamaan (2.9) sedangkan nilai K_g dihitung menggunakan persamaan (2.5). Adapun penyebaran nilai shear strain diberikan pada Gambar 4.15 hingga Gambar 4.18 .



Gambar 4.15 Indeks kerentanan tanah

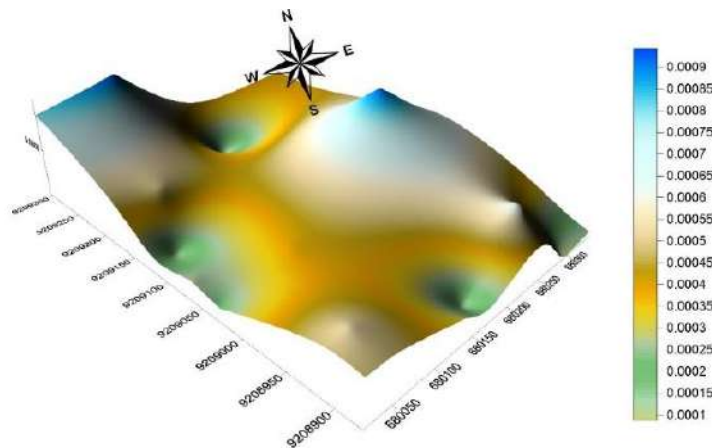


Gambar 4.16 Sebaran 3d Indeks kerentanan tanah



Shear Strain dalam 10^{-4}

Gambar 4.17 Sebaran nilai shear strain



Gambar 4.18 Sebaran 3d nilai shear strain

Nilai indeks kerentanan seismik yang ditampilkan pada Gambar 4.15 menunjukkan Nilai indeks kerentanan tanah terbesar berada pada arah Timur-Tenggara serta Barat laut-utara lokasi dengan nilai 25-28. Hal ini berkaitan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah dari resiko gempa bumi. Semakin besar nilai indeks kerentanan seismik di suatu wilayah, maka tingkat resiko gempa bumi terhadap kerusakan akibat gempa bumi semakin besar. Besar kecilnya nilai indeks kerentanan seismik dipengaruhi oleh nilai frekuensi dominan dan amplifikasi.

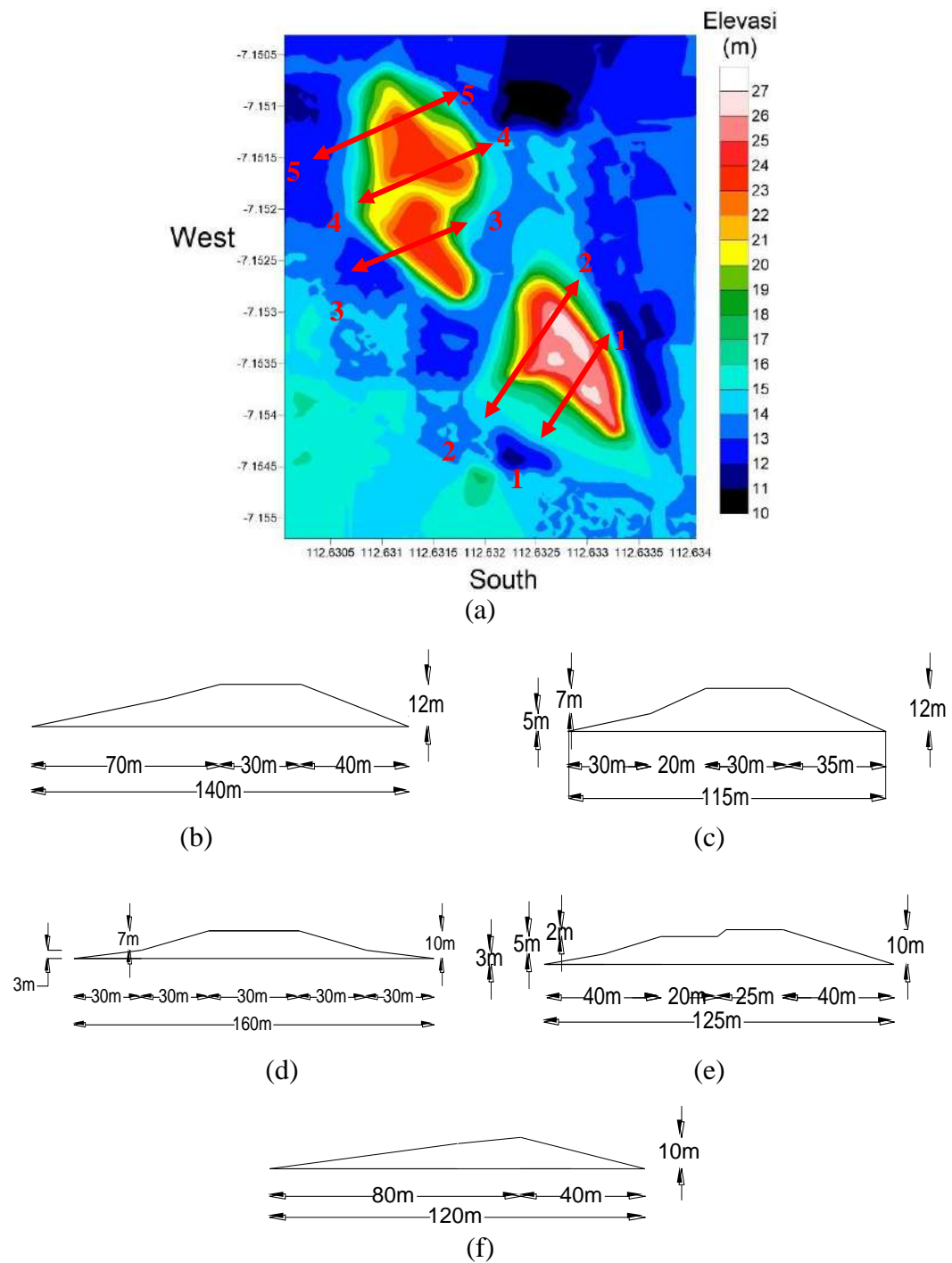
Dari gambar 4.17 terlihat bahwa nilai shear strain yang didapatkan adalah berkisar $8.37 \times 10^{-4} - 9.29 \times 10^{-3}$. Menurut Tabel 2.2 nilai tersebut menandakan dimana terjadinya fenomena *crack* atau penuruan, dengan sifat dinamis elasto-plastis dengan efek berulang. Nilai shear strain terbesar di tunjukan pada arah utara dan Timur lokasi. Hal ini sesuai dengan parameter lainnya yang telah dijelaskan sebelumnya, bahwa area utara dan Timur memiliki nilai amplifikasi yang tinggi, dan kedalaman bedrock yang cukup rendah. Amplifikasi yang besar berpotensi mempunyai nilai kecepatan rambatan yang lebih cepat, selain itu dengan ketebalan sedimen yang tipis mengakibatkan daerah tersebut lebih besar potensi kerusakanya dibandingkan dengan yang lain.

4.3 Pembahasan Analisis Dinamis Menggunakan Plaxis

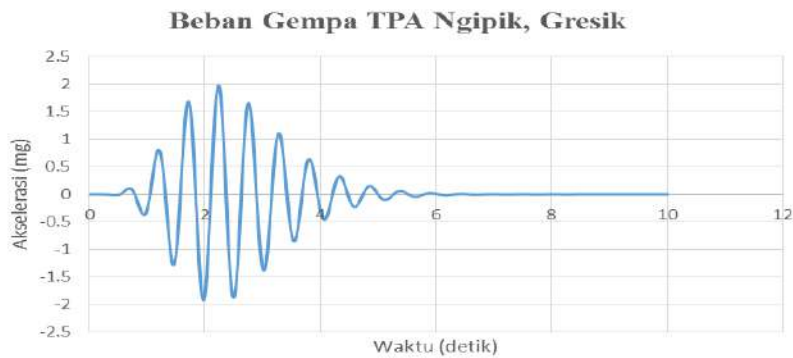
Setelah didapatkan parameter tanah dasar dari hasil statistik, dan ketebalan lapisan bedrock dari hasil mikrotremor maka dilakukan analisis dinamis timbunan dengan beberapa kondisi sesuai dengan cross section yang dipilih berdasarkan topografinya dan geometri timbunan yang mewakili. Adapun beberapa kondisi pemodelan diberikan pada gambar 4.19.

Analisis dinamis plaxis membutuhkan input dari beban gempa (*dinamyc load*). Beban gempa yang digunakan adalah sesuai dengan Peta Gempa Indonesia (Gambar 2.17) sehingga didapatkan nilai sebesar 0.2g, setelah itu sesuai dengan Persamaan 2.13 dengan nilai frekuensi rata-rata permukaan dari mikrotremor adalah 1.9 Hz dengan nilai $\alpha = 5.5$ dan $\beta = 55$ merupakan koefisien konstan, didapatkan grafik akselerasi dan waktu seperti ditunjukan pada Gambar 4.20.

Setelah memasukan beban gempa, dan dilakukan analisa perhitungan, hal selanjutnya yang akan dilakukan yaitu melihat nilai shear strain yang dipermukaan saat setelah beban dinamis berlangsung, dan perhitungan SF pada saat keadaan tanpa gempa.



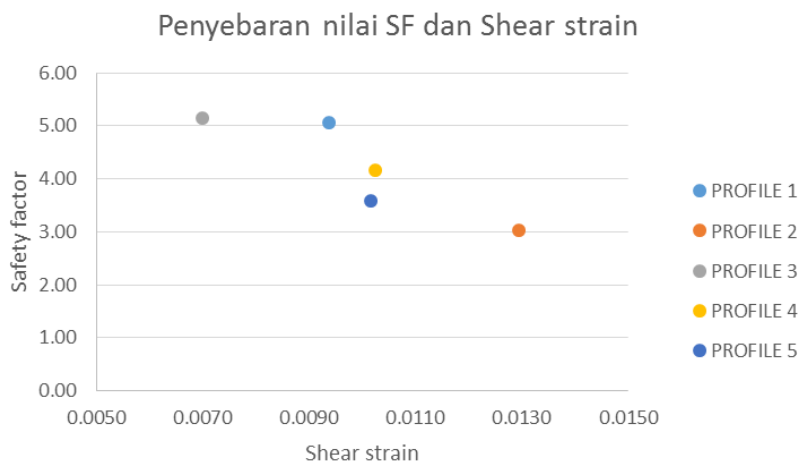
Gambar 4.19 (a) Lokasi cross section pemodelan (b) Potongan profile 1-1 (c) Potongan profile 2-2 (d) Potongan profile 3-3 (e) Potongan profile 4-4 (f) Potongan profile 5-5



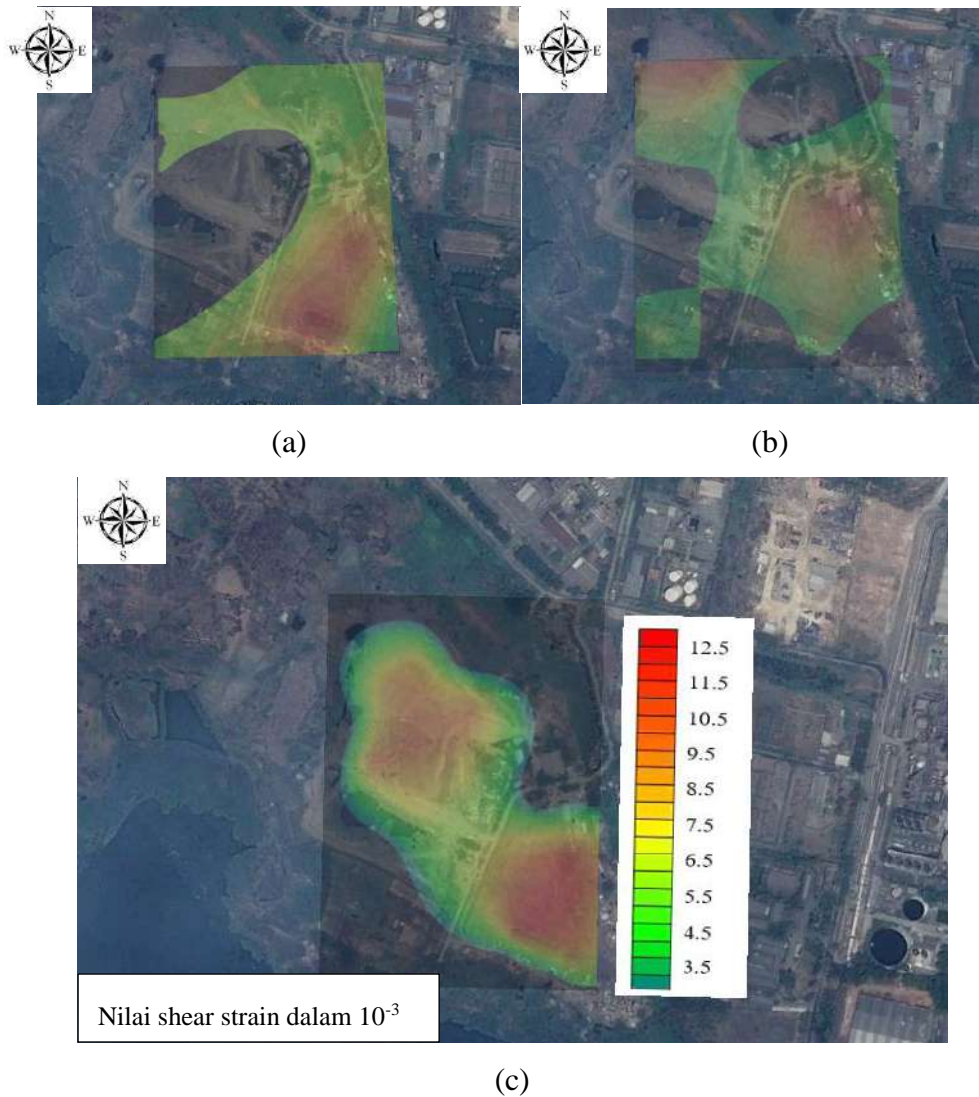
Gambar 4.20 Input beban gempa TPA Ngipik

4.3.1 Pembahasan Analisis Dinamis Shear Strain dan Safety Factor (Kondisi Eksisting)

Setelah dilakukan analisis dinamis menggunakan plaxis untuk melihat perilaku timbunan maka didapatkan shear strain pada permukaan, dan nilai safety factor yang didapatkan yaitu menggunakan program Geoslpoe. Output akhir dari semua kondisi perhitungan diberikan pada lampiran 3 halaman 99. Adapun grafik hubungan antara nilai safety faktor timbunan dan nilai Shear strain diberikan pada gambar 4.21. Dari Gambar 4.21, nilai safety faktor dari timbunan sampah pada kondisi eksisting adalah 3.03-5.142, hal ini sesuai dengan kondisi dilapangan yang masih aman dan stabil.



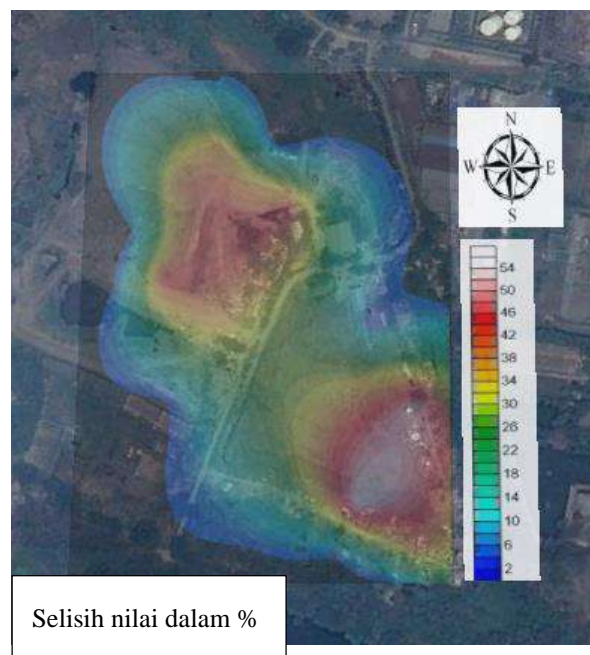
Gambar 4.21 Nilai SF dan shear strain untuk setiap profile timbunan.



Gambar 4.22 (a) Nilai shear strain hasil analisis plaxis (b) nilai shear strain analisis mikrotremor (c) Nilai shear strain akhir hasil dari analisa Plaxis dan mikrotremor.

Nilai shear strain hasil dari analisis Plaxis seperti ditunjukkan pada Gambar 4.22 memberikan nilai berkisar $6.99 \times 10^{-3} - 1.29 \times 10^{-2}$. Nilai tertinggi shear strain ditunjukkan pada profile 2. Hal ini tidak sama persis dengan mikrotremor sebelumnya yang menunjukkan nilai shear strain berkisar $8.37 \times 10^{-4} - 9.29 \times 10^{-3}$. Shear strain dari hasil mikrotremor merupakan shear strain yang didapatkan

dipermukaan tanah dengan hasil pengukuran langsung dilapangan. Sehingga parameter yang mempengaruhi adalah parameter dinamis lapangan (frekuensi natural, amplifikasi, dan lain-lain). Sedangkan shear strain dari Plaxis didapatkan dari hasil analisis pemodelan *finite elemen* yang mempunyai grid mesh (yang terdiri dari node-node) pada pemodelan yang dipengaruhi oleh geometri timbunan sampah dan koefisien dinamis serta parameter input lainnya. Gambaran selisih shear strain pada lokasi diberikan pada Gambar 4.23, sedangkan selisih hasil dari setiap koordinat yang sama antara hasil analisa Plaxis dan mikrotremor diberikan pada lampiran 3.



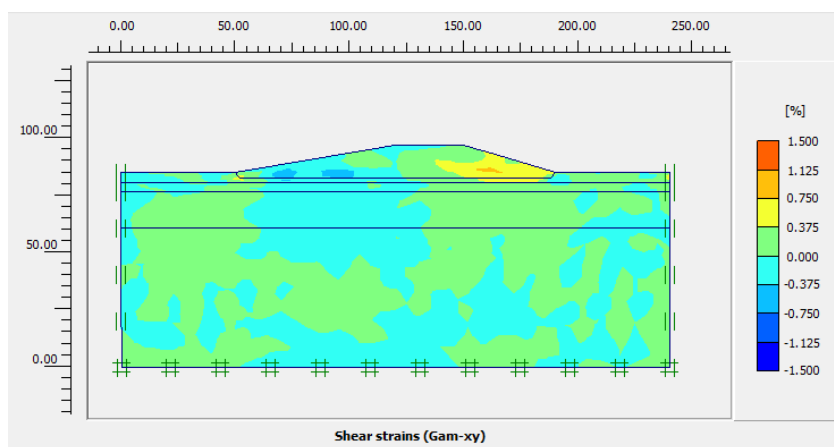
Gambar 4.23 Selisih nilai shear strain antara mikrotremor dan Plaxis

Dari setiap koordinat yang sama menghasilkan selisih terbesar yaitu 55%. Nilai maksimal berada pada timbunan sampah yang lebih tinggi dan curam (lebih tinggi 2m dan lebih curam dengan sudut kemiringan timbunan 25°). Hal ini dikarenakan pengukuran mikrotremor tidak meninjau efek dari geometri timbunan sampah itu sendiri. Selain itu, pengukuran mikrotremor yang dilaksanakan dilapangan juga tidak tepat berada pada titik timbunan sampah mengingat titik timbunan sampah mempunyai lapisan permukaan yang tidak padat sehingga

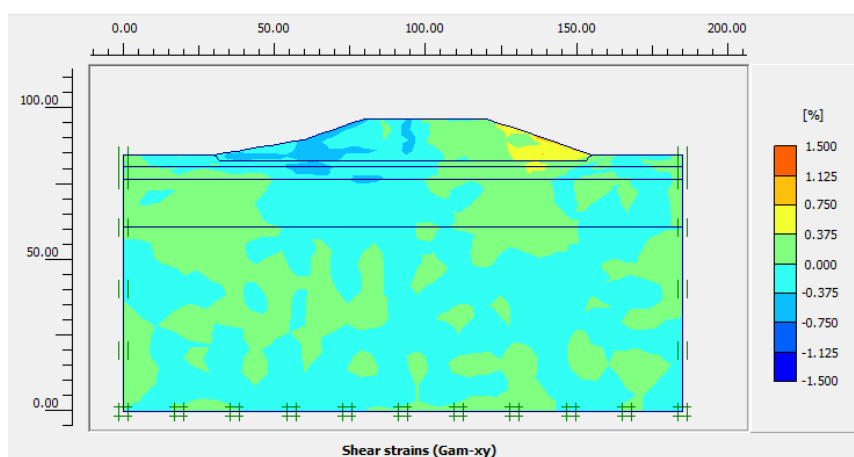
apabila dilakukan pengukuran pun akan mendapatkan hasil yang tidak representatif. Adapun nilai shear strain hasil plaxis apabila digabungkan dengan hasil shear strain dari analisis mikrotremor (Gambar 4.17) di berikan pada Gambar 4.22.

Gambar 4.22 menunjukan nilai shear strain terbesar dengan warna merah-kuning yaitu 1.29×10^{-2} berada di area Timur-Tenggara lokasi TPA dan di arah Barat laut. Menurut Tabel 2.2 dengan nilai shear strain tersebut akan terjadi fenomena longsor atau keruntuhan setelah terjadi gempa. Selain itu, dari pembahasan sebelumnya diketahui bahwa area tersebut mempunyai nilai amplifikasi yang tinggi yaitu berkisar 5-6.8, Kedalaman bedrock yang tidak terlalu tebal dan geometri timbunan sampah yang lebih tinggi yaitu 12m dengan kemiringan 1:5. Amplifikasi yang tinggi merepresentasikan kecepatan gelombang yang tinggi, terlebih dengan kedalaman bedrock yang lebih tipis akan mengakibatkan area tersebut lebih berpotensi mengalami kerusakan, sehingga area tersebut berpotensi besar mengalami kebocoran dan penyebaran lindi jika terjadinya gempa. Berbeda dengan area timbunan dengan ketinggian yang lebih rendah, area tersebut menghasilkan nilai shear strain yang lebih kecil walaupun relatif sama karna menghasilkan rentang nilai shear strain berkisar 10^{-2} . Hal ini dikarenakan area timbunan sampah arah Barat-Barat Laut mempunyai kedalaman lapisan bedrock yang lebih dalam, frekuensi natural yang rendah, serta geometri timbunan yang lebih rendah dan landai. Hal ini lah yang menyebabkan potensi kerusakan pada daerah tersebut lebih kecil dibandingkan dengan area Timur-Tenggara walaupun sama-sama akan mengalami kerusakan saat gempa.

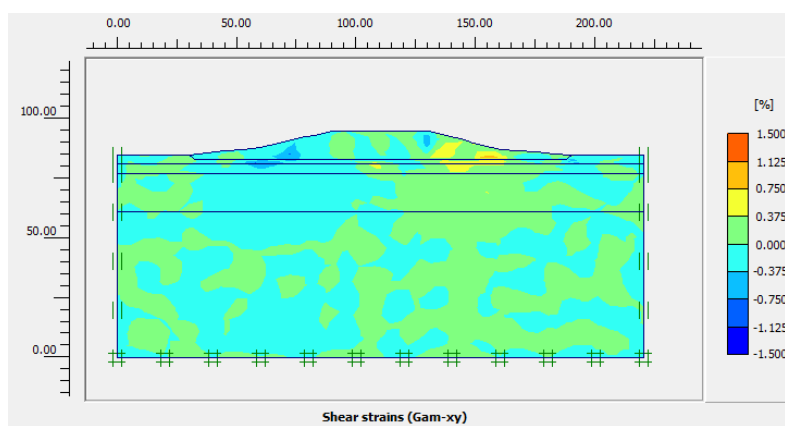
Analisis dinamis menghasilkan nilai shear strain yang berbeda disetiap kedalaman, hal ini dipengaruhi oleh perbedaan parameter tanah serta geometri dari timbunan itu sendiri. Penyebaran nilai shear strain secara keseluruhan disetiap lapisan timbunan sampah diberikan pada Gambar 4.24.



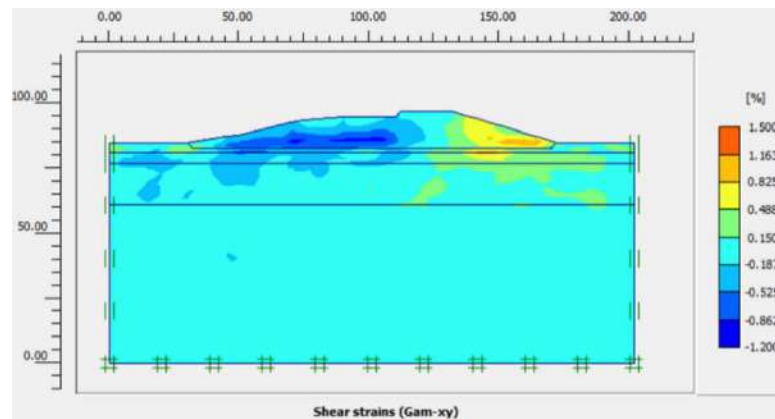
(a)



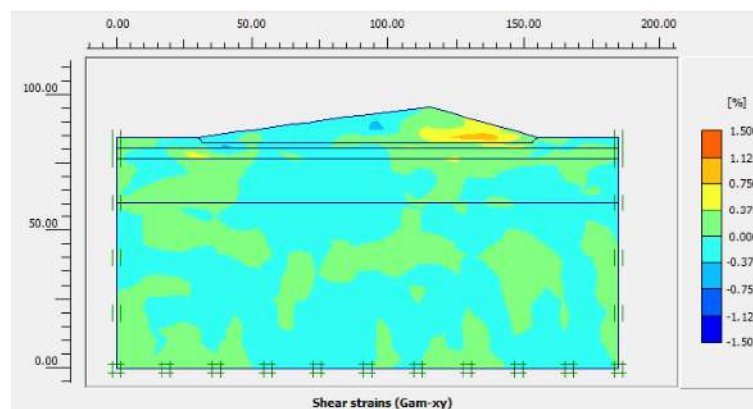
(b)



(c)



(d)



(e)

Gambar 4.24 (a) Penyebaran shear strain profile 1 (b) Penyebaran shear strain profile 2 (c) Penyebaran shear strain profile 3 (d) Penyebaran shear strain profile 4 (e) Penyebaran shear strain profile 5

Dari Gambar 4.24 dapat diketahui nilai shear strain terbesar ditunjukkan dengan warna merah-kuning, tanda minus hanya berarti menunjukkan arah yang berbeda. Semua nilai menunjukkan nilai shear strain berkisar $5 \times 10^{-3} - 1.2 \times 10^{-2}$. Hasil dari semua profile yang ada menunjukkan nilai shear strain terbesar berada pada bagian timbunan yang memiliki geometri yang lebih curam dan daerah yang terletak di tanah dasar yang tepat berada di bawah timbunan, hal ini lah yang memungkinkan terjadinya potensi kerusakan di bagian bawah timbunan yang akan mengakibatkan lindi menyerap masuk kedalam tanah dasar dan akan mencemari air tanah.

Dari analisis mikrotremor dan plaxis menunjukkan nilai yang hampir sama

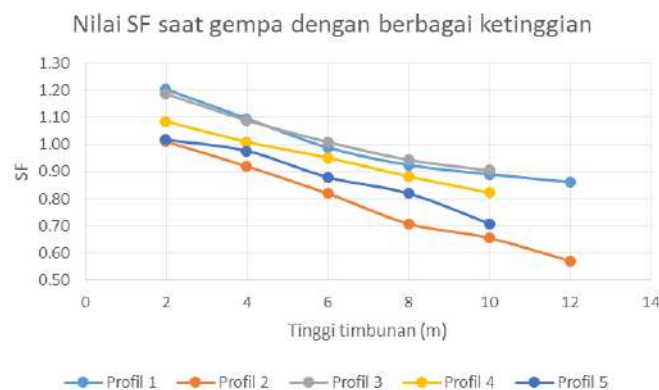
dengan hasil bahwa nilai shear strain terbesar yang dapat menimbulkan kerusakan berada di bawah timbunan dengan kelandaian yang curam, serta kedalaman bedrock yang tipis dan frekuensi natural yang rendah. Area yang memiliki potensi kerusakan terbesar berada pada arah Timur-Tenggara dan Barat laut lokasi.

4.3.2 Pembahasan Analisis *Safety Factor* dengan Berbagai Variasi

Ketinggian Timbunan

Setelah mengetahui nilai safety factor dari setiap profil (Gambar 4.19) pada kondisi gempa maupun saat belum terjadinya gempa, selanjutnya dianalisis nilai SF untuk berbagai variasi ketinggian pada saat terjadinya gempa. Ketinggian timbunan yang direncanakan adalah berkisar 2, 4, 6 8 10 dan 12 m. Hasil analisis dilakukan untuk mengetahui perilaku dan batas ketinggian timbunan yang aman saat terjadinya gempa. Hasil analisis diberikan pada Gambar 4.25.

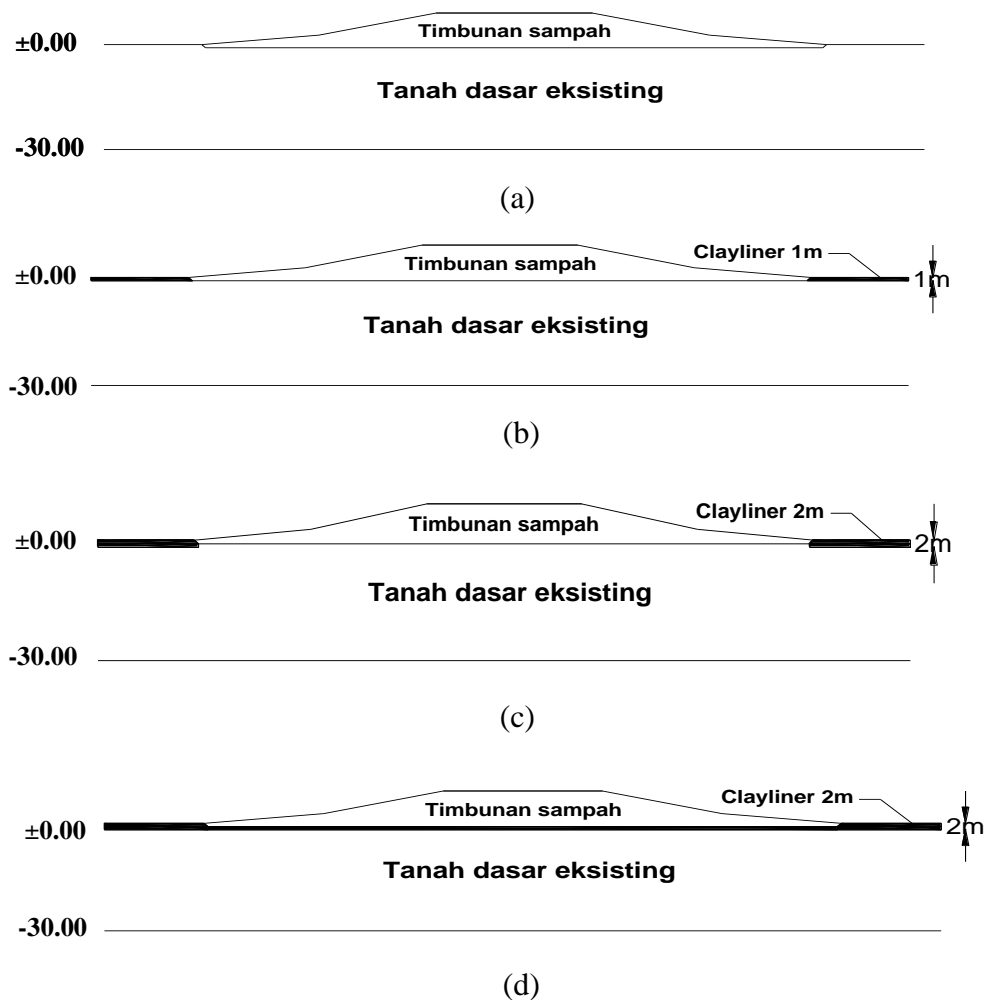
Gambar 4.25 menunjukkan nilai SF dari berbagai profil (Gambar 4.19) dengan ketinggian yang telah dimodelkan. Hasil menunjukkan nilai SF yang ≥ 1 berada saat ketinggian 2-6m, perbedaan nilai ini dikarenakan nilai SF awal pada setiap profil yang berbeda akibat dari geometri timbunan itu sendiri. Profil 2 memiliki nilai ketinggian batas yang paling rendah, yaitu 2m. Hal ini dikarenakan nilai SF pada kondisi eksisting pada profil 2 mempunyai nilai terendah dari profil lainnya, selain itu profile 2 juga mempunyai geometri yang lebih curam dan nilai shear strain awal yang tinggi. Seluruh hasil perhitungan diberikan pada Lampiran 4 halaman 114.



Gambar 4.25 Nilai SF dengan berbagai variasi ketinggian

4.3.3 Pembahasan Analisis Plaxis dengan Pemodelan Clay Liner

Setelah dilakukan analisis dinamis pada kondisi eksisting, diketahui bahwa lokasi TPA akan memiliki potensi kerusakan jika terjadinya gempa. Oleh sebab itu dilakukan analisis pergantian tanah disekitar timbunan sampah dengan tanah yang lebih padat. Pergantian yang dilakukan adalah sebesar 1m dan 2m, sketsa pemodelan untuk setiap pergantian clay liner diberikan pada Gambar 4.26. Sedangkan hasil nilai shear strain analisis Plaxis dari kondisi eksisting dan setelah pergantian clay liner hingga 2m diseluruh dasar timbunan sesuai dengan EPA diberikan pada gambar 4.26.



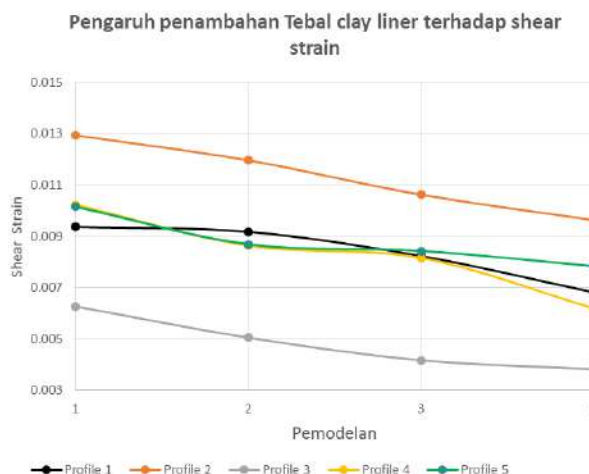
Gambar 4.26 (a) Sketsa pemodelan 1 (b) Sketsa pemodelan 2 (c) Sketsa pemodelan 3 (d) Sketsa pemodelan 4

Gambar 4.26 menerangkan bahwa setiap pemodelan memiliki pergantian clay liner yang berbeda-beda. Pemodelan 1 berarti kondisi eksisting dimana belum adanya pergantian tanah dasar dengan clay liner. Pemodelan 2 yaitu kondisi tanah dasar diganti dengan clay liner setebal 1m disekitar timbunan sampah, sedangkan pemodelan 3 clay liner yang menggantikan tanah dasar yaitu setebal 2m di sekitar timbunan sampah saja. Pemodelan 4 menggunakan pergantian tanah dasar dengan clay liner 2m di seluruh bagian bawah permukaan timbunan sampah sesuai dengan EPA. Pemodelan ini bertujuan untuk melihat perilaku tanah dasar apabila tanah dasar di bawah tumpukan sampah diganti dengan Clay liner yang diisyratkan oleh EPA.

Gambar 4.27 menunjukan hubungan tiap pemodelan clay liner dengan nilai shear strain pada setiap profile cross section yang dimodelkan (Gambar 4.19). Hasil menunjukan nilai yang sama bahwa shear strain pada setiap profile akan turun dari kondisi awalnya, penurunan nilai shear strain berkisar 2-19% dari kondisi awalnya untuk pergantian clay liner 1m, sedangkan untuk pergantian clay liner 2m menghasilkan penurunan nilai shear strain sebesar 12-33% dari kondisi awal. Sedangkan analisis Plaxis dengan pergantian tanah diseluruh dasar timbunan (Sesuai EPA) dengan ketebalan 2m menunjukan bahwa nilai shear strain turun sebesar 27-40%. Perbedaan nilai penurunan ini dikarenakan pergantian tebal lapisan berbeda-beda, dan lokasi pergantian tanah yang diganti. Pergantian tanah diseluruh dasar timbunan menghasilkan nilai yang jauh lebih besar penurunannya dari pada yang hanya disekitar timbunan saja walaupun kedalaman lapisan adalah sama-sama 2m.

Analisis ini membuktikan bahwa, pergantian tanah disekitar area timbunan sampah dengan tanah yang lebih padat dan sesuai dengan EPA walaupun tanpa memodelkan adanya *protection layer* akibat keterbatasan pemodelan. Nilai *hydraulic conductivity* yang di syaratkan yaitu dengan nilai $k = 10^{-9}$ m/detik, akan menghasilkan nilai shear strain yang lebih kecil, yang berarti kerusakan yang terjadi juga lebih kecil pula. Hal ini dikarenakan tanah dipadatkan dengan energy pemadatan tertentu selain mengalami kenaikan nilai *hydraulic conductivity* juga

mengalami kenaikan nilai parameter tertentu, seperti kekuatan geser dan Modulus geser. Kenaikan parameter tersebut merepresentasikan kenaikan kekuatan tanah, sehingga menyebabkan nilai shear strain yang lebih kecil. Selain itu, nilai *hydraulic conductivity* (k) = 10^{-9} m/detik juga mengantisipasi lindi masuk kedalam tanah secara cepat dibandingkan dengan nilai *hydraulic conductivity* yang lebih besar.



Gambar 4.27 Hasil nilai shear strain dari Plaxis dengan pemodelan clay liner

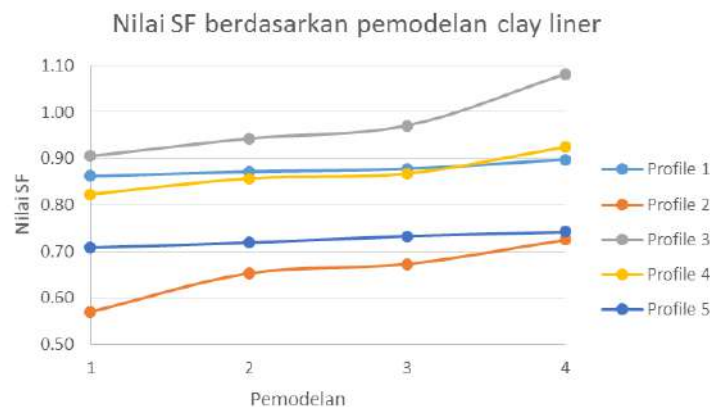
Dari hasil analisis dapat diketahui bahwa untuk menanggulangi bahaya seismik dapat dilakukan pergantian tanah sesuai dengan parameter clay liner yang telah ditetapkan oleh EPA. Walaupun seharusnya harus ditambahkan beberapa lapisan pelindung (*protection layer*) seperti geomembran dan ditambahkan dengan sirkulasi lindi yang baik. Namun pergantian tanah saja sudah menghasilkan perubahan nilai shear strain yang dapat memperkecil potensi kerusakan akibat gempa walaupun akan tetap terjadi kebocoran karena *shear strain* yang dihasilkan masih berkisar 10^{-3} . Hal ini dapat dijadikan langkah awal untuk antisipasi bahaya kegempaan di TPA Ngipik. Semua analisis Plaxis diberikan pada Lampiran 3.

4.4 Pembahasan Nilai Safety Factor Menggunakan Analisis Geoslope dengan Pemodelan Clay Liner

Setelah dilakukan pemodelan *clay liner* untuk mengetahui nilai shear strain pada lapisan tanah dasar, selanjutnya dilakukan analisis Geoslope untuk

mengetahui nilai safety factor disetiap profile timbunan. Pemodelan yang dilakukan sama dengan pemodelan yang dilakukan untuk mengetahui shear strain, pemodelan yang dilakukan sesuai dengan Gambar 4.25.. Hasil analisis Safety factor diberikan pada gambar 4.28.

Gambar 4.28 menunjukkan hubungan antara nilai SF dengan pergantian tebal *clay liner* yang menggantikan tanah dasar. Jika diganti dengan *clay liner* disebagian daerah timbunan setebal 1m akan menaikkan nilai SF sebesar 1-15% dari kondisi awal saat gempa, dan 2-18% apabila digantikan dengan clay liner setebal 2m disekitar timbunan sampah, sedangkan apabila digantikan secara keseluruhan setebal 2m akan menaikkan SF sebesar 4-27%.



Gambar 4.28 Nilai SF berdasarkan pemodelan clay liner

Nilai SF terkecil saat gempa terdapat di profile 2. Hal ini di sesuai dengan nilai shear strain dari hasil plaxis maupun mikrotremor yang juga menghasilkan nilai lebih tinggi. Selain itu, Profile 2 mempunyai geometeri timbunan yang lebih tinggi (lebih tinggi 2m) dan lebih curam (sudut kemiringan timbunan 25^0) dari profile yang lain dan mempunyai indeks kerentanan tanah yang lebih besar akibat lapisan sedimen yang lebih tipis.

Pemodelan clay liner setebal 2m diseluruh bagian bawah timbunan (EPA) menunjukkan kenaikan Nilai SF seiring dengan bertambahnya ketebalan lapisan clay liner. Kenaikan nilai SF yang lebih besar pada setiap profile ditunjukkan pada

pergantian tanah dasar dengan ketebalan 2m diseluruh daerah timbunan (sesuai EPA). Hal ini dikarenakan volume tanah dasar yang diganti juga lebih banyak, yang dapat mengakibatkan adanya penambahan kekuatan tanah dasar. Penambahan kekuatan tanah dasar akan meningkatkan nilai SF. Langkah awal yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi bahaya kerusakan akibat seismik yaitu dengan pergantian (*replacement*) tanah menggunakan tanah yang lebih baik yang di isyaratkan oleh EPA di tanah dasar sekitar timbunan sampah. Seluruh perhitungan Geoslope diberikan pada Lampiran 4.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Stabilitas timbunan sampah saat kondisi eksisting tanpa gempa adalah stabil dengan safety factor berkisar 3.03-5.06, sedangkan saat terjadinya gempa 0.2g menjadi tidak stabil dengan nilai safety factor berkisar 0.57-0.905.
2. Pengujian Mikrotremor dengan kurva HVSR menghasilkan nilai *Shear Strain* : $8.37 \times 10^{-4} - 9.29 \times 10^{-3}$ sedangkan dari hasil pengujian Plaxis didapatkan nilai shear strain $1.06 \times 10^{-3} - 1.05 \times 10^{-2}$. Nilai shear strain hasil pengujian Plaxis lebih dapat diandalkan dari pengujian mikrotremor dengan perbedaan nilai sebesar 55%. Area bagian Timur-Tenggara wilayah penelitian mempunyai frekuensi natural yang rendah dan shear strain yang besar sehingga berpotensi mengalami kerusakan dan penyebaran lindi yang lebih besar pula.
3. Penggunaan clay liner setebal 1m dan 2m mengakibatkan penurunan shear strain masing-masing sebesar 2-19% dan 17-33% dan peningkatan safety factor sebesar 1-15% dan 2-18% dari kondisi eksistingnya, sedangkan apabila diganti secara keseluruhan dibawah timbunan setebal 2m menyebabkan penurunan shear strain sebesar 23-40% dan peningkatan safety factor 4-27% dari kondisi eksisting.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah :

1. Pemilihan titik pengukuran mikrotremor harus memperhatikan aktifitas manusia dan hal-hal lain yang dapat mengganggu untuk mendapatkan data yang lebih banyak dan akurat.

2. Pada penelitian selanjutnya dibutuhkan analisa yang telah mempertimbangkan dekomposisi tanah dan lindi yang tergenang.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina (2011), *Karakteristik sampah pada TPA Ngipik Gresik*, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Arsyadi (2017), *Identifikasi Persebaran Air Lindi Di Tpa Ngipik Kabupaten Gresik Dengan Menggunakan Metode Resistivitas 2d Konfigurasi Wenner-Schlumberger*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Augello (1995), *Studi Analisis Stabilitas Lereng Pada Timbunan Dengan Metode*, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
- Blight (2004), Orr Slope Stability, Jurnal of Geotechnic engineering, Cowlitz County Headquarters Landfill Project Cowlitz County, Washington.
- Bachgi (1994), *Jurnal Of waste material*, Civ. Engr., Schaeffer, Amos, & Hughes, LLC, 1253-G Lyons Rd., Dayton, OH 45458; formerly, Envir. Engr., Southwest District, Div. of Solid and Infectious Waste Mgmt., Ohio Envir. Protection Agency, Dayton, OH.
- Bathrust, Okuda T, Simion C (1998), *Seismic Design And Analysis Of Landfill Slopes*, Indian Institute of Technology Guwahati
- Bowles, J.E. (1996) *Physical and Geotechnical Properties of Soil*. McGRAW-HILL International book company. Tokyo, Japan
- Daryono, S. J. Sartohadi, Dulbahri, K. S. Brotopuspito (2009). *Efek Tapak Lokal (Local Site effect) di Graben Bantul Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. International conference earth science and technology. Yogyakarta
- Endah, N. dan L. Pudjiastuti. (1995). *Pengaruh Leachate Sampah Kota Surabaya di TPA Sukolilo terhadap Kualitas Air Sumur Penduduk di Sekitarnya*. Lembaga Penelitian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Enviromental Protection Agency (EPA) (2012), *Leachate resirculation design, Landfill site manual*, Ireland
- Fitz, Mallampati L.S, Hynes M.E (2007), *Simplified method to characterize municipal solid waste properties*, Jurnal of Waste Managemnet, Tongji

- University, Shanghai
- Galipoli, Lee B.K, Mitoma Y (2004), Microtremor measurement, Jurnal of geo science, Hangzhou University
- Goro. *Studi Analisis Stabilitas Lereng Pada Timbunan Dengan Metode Elemen Hingga*. Jurnal, Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
- Gharabaghi, Ellis L.K, Franklin A.G (2007) *Municipal Solid Waste Slope Failure*, Jurnal of waste management, Div. of Solid and Infectious Waste Mgmt., Ohio Envir. Protection Agency, Columbus, OH
- Khrisna (2009), *Analyses of Seismic Damage to Interfaces in Waste*, Proceedings of the 5th European Geosynthetics Congress, EUROGEO
- Mirzaoglu, Krinitzsky L.C, Mary E.H (2003), Microtremor measurement, International Journal of Advances in Science Engineering and Technology
- Motamed, Ramaiah B.J, Ramana G.V (2007), Advance of Microtremor measurement, jurnal of Geophysic Engineering, Civ. Engrg., Univ. of Illinois, 205 N. Mathews Ave., Urbana
- Moore, Gary S. (2002.) *Living with Earth: Concepts in Environmental Health Science, Second Edition*. CRC Press LLC, USA.
- Muccearelli (2007), *Geotechnical characterization of a Municipal Solid Waste Incineration Ash*, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, United States
- Nakamura (1997), Y., *Seismic Vulnerability Indices For Ground and Structures Using Microtremor*, World Congress on Railway Research in Florence, Italy, November.
- Nakamura, Y. (1989). *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quarterly Report of Railway Technical Research Inst. (RTRI) 30, 25 - 33.
- Okada (2003), 836977. *Geophysical investigations at municipal solid waste landfill*, Jurnal of physic Enggining, Civ. Engrg., Zagazig University—Shobra Branch, Cairo, Egypt.
- Pujianto, Goro, Aditya (2017), *Analisa Kestabilan Lereng Akibat Gempa*, Jurusan

Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado

Pinto P.S (2009) *Static And Seismic Analysis Of Solid Waste Landfills*, Jurnal.
University new of Lisbon, Portugal

Pusat Penelitian dan Pengembangan Permukiman (2017) *Bahan Workshop
Kegempaan Dan Seminar RSNI Geoteknik 2016*

Pujianto, Dwinto K, Sari N (2017), *Analisis Pengaruh Beban Gempa Terhadap
Stabilitas Lereng Di Desa Sendangmulyo, Tirtomoyo, Wonogiri* e: M.S.
Thesis, Sebelas Maret University

Raghab, S M., Meguid, A., and Hegazi, H. A. (2013). *Treatment of Leachate from
Municipal Solid Waste Landfill. HRBC Journal Vol (2): 187-192.*

Ramakhrisna (2017)., *A Study On Seismic Stability Of Msw Landfills*. Thesis,
Building Engineering And Disaster Mitigation

Samang (2012), *Bahan Kuliah Teknik Lingkungan Sanitary Landfill*, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember

Seed,H.B., and Idriss, I.M.(1971). “*Simplified procedure for Evaluating Soil
Liquection Potential*”. Journal of the Soil Mechanics and Foundation
Divison. 1971.

SESAME European research project .,(2004). *Guidelines for the implementation of
the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements,
processing and interpretation.*

Sungkono dan B.J.Santosa (2008,)jurnal *Karakterisasi Kurva Horizontal-To-
Vertical Spectral Ratio*. Kajian Literatur dan Permodelan.

Sutarman (2013), *Analisis Pengaruh Beban Gempa Terhadap Stabilitas Lereng Di
Desa Sendangmulyo, Tirtomoyo, Wonogiri*, Jurusan teknik Sipil,
Universitas Sebelas Maret

Smith, K., (2000), *Using microtremor to illuminate subsurface geology of
Memphis,Tennessee*: M.S. thesis,University of Memphis.

Thuladar et al (2004), *Literature review of baseline study for risk analysis — The
landfill*, Jurnal Of Seismic Analysis, Univ. of Illinois, 205 N. Mathews
Ave., Urbana, IL 61801.

- Wahyudi (1999), *Bahan Ajar Metode Perbaikan Tanah*, Institut Teknologi Seuluh
Nopember
- Widodo (2012), *Integrasi Data Mikrotremor Dan Pengukuran Resistivitas
Untuk Mengidentifikasi Potensi Akuifer Air Tanah*, Institut Teknologi
Sepuluh Nopember
- Zania V (2007) *Dynamic Behavior Of Geosynthetic Lined Waste Impoudments*.
Journal The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing,
China
- Zekkos, D. (2008) *Recent Findings on the Static and Dynamic Properties of
Municipal Solid Waste*. Jurnal,. Geotechnics Of Waste Management And
Remediation. New Orleans

LAMPIRAN 1

Analisa statistik data tanah

KEDALAMAN	Y(t/m ³)				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	rata2	use
2	1.70	1.80	1.64	1.71	1.70
4	1.70	1.77	1.61	1.69	
6	1.62	1.67	1.62	1.64	1.81
8	1.88	1.86	1.83	1.86	
10	1.86	1.87	1.89	1.87	1.86
12	1.98	1.86	1.84	1.89	
14	1.88	1.83	1.83	1.85	
16	1.89	1.82	1.93	1.88	
18	2.32	1.68	1.82	1.94	
20	1.84	1.75	1.88	1.82	
22	1.84	1.84	1.81	1.83	
24	1.80	1.91	1.85	1.85	
26	1.84	1.87	1.90	1.87	1.84
28	1.87	1.53	1.85	1.75	
30	1.75	1.86	1.99	1.87	

Keterangan : STDV : standar deviasi CV ; Coeffiseien varian

Tanah Soft							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
2.00	1.70	1.80	1.64	1.70	0.068	4%	Oke
4.00	1.70	1.77	1.61				
6.00		1.67					

Tanah Medium							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
6	1.62		1.62	1.81	0.134	7%	Oke
8	1.88	1.86	1.83				
10	1.86						
12	1.98						

Tanah Very Stiff							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
10	1.88	1.87	1.89	1.86	0.113	6%	Oke
12	1.89	1.86	1.84				
14	2.32	1.83	1.83				
16	1.84	1.82	1.93				
18	1.84	1.68	1.82				
20	1.80	1.75	1.88				
22	1.84	1.84	1.81				
24	1.87	1.91					
26	1.75						
28							
30							

Tanah Hard							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
24			1.85	1.837079	0.144	8%	Oke
26		1.87	1.90				
28		1.53	1.85				
30		1.86	1.99				

KEDALAMAN	Cohesi (kg/cm ²)				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	rata2	use
2	0.14	0.12	0.17	0.14	0.15
4	0.24	0.16	0.18	0.19	
6			0.26	0.26	0.24
8	0.54	0.17	0.28	0.33	
10	0.57			0.57	0.42
12			1.52	1.52	
14		0.35	1.48	0.92	
16		0.43	1.66	1.05	
18	0.94	0.31	1.52	0.92	
20	1.11	0.39		0.75	
22	0.57			0.57	
24	0.46		0.51	0.48	
26	0.33	0.51	0.51	0.45	0.56
28	0.54	0.49	0.68	0.57	
30		1.86	0.67	1.26	

Tanah Soft							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
2.00	0.14	0.12	0.17	0.15	0.025	16%	Oke
4.00		0.16	0.18				
6.00							

Tanah Medium							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
6			0.26	0.24	0.060	25%	Oke
8			0.28				
10		0.17					
12							

Tanah Very Stiff							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
10				0.42	0.095	23%	Oke
12							
14		0.35					
16		0.43					
18		0.31					
20		0.39					
22	0.57						
24	0.46						
26	0.33						
28	0.54						
30							

Tanah Hard							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
24			0.51	0.560933	0.087	16%	Oke
26		0.51	0.51				
28		0.49	0.68				
30			0.67				

KEDALAMAN	Angka pori (e)				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	rata2	use
2	1.22	1.10	1.64	1.32	1.36
4	1.38	1.19	1.63	1.40	
6	1.56	1.37	1.55	1.49	1.11
8	0.88	0.89		0.89	
10	1.04	1.04	0.93	1.00	0.91
12	0.71	0.91	0.88	0.84	
14	0.85	0.82	0.67	0.78	
16	0.99	0.97	0.61	0.86	
18	0.62	1.07	0.93	0.87	
20	0.99	1.06		1.03	
22	1.05	0.91	0.92	0.96	
24	0.97	0.84	0.92	0.91	
26	0.97	0.95	0.94	0.95	0.92
28	1.00		0.94	0.97	
30	0.89	0.95	0.85	0.90	

Tanah Soft							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
2.00	1.22	1.10	1.64	1.36	0.210	15%	Oke
4.00	1.38	1.19	1.63				
6.00		1.37					

Tanah Medium							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
6	1.26		1.25	1.11	0.177	16%	Oke
8		0.89					
10	1.04						
12							

Tanah Very Stiff							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
10	0.85	1.04	0.93	0.91	0.129	14%	Oke
12	0.99	0.91	0.88				
14	0.62	0.82	0.67				
16	0.99	0.97	0.61				
18	1.05	1.07	0.93				
20	0.97	1.06					
22	0.97	0.91	0.92				
24	1.00	0.84					
26	0.89						

Tanah Hard							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
24			0.92	0.923822	0.040	4%	Oke
26		0.95	0.94				
28			0.94				
30		0.95	0.85				

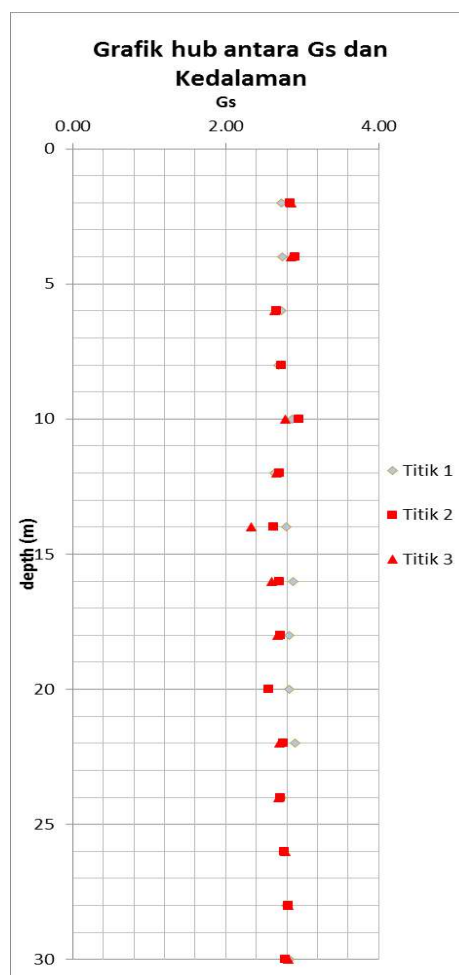
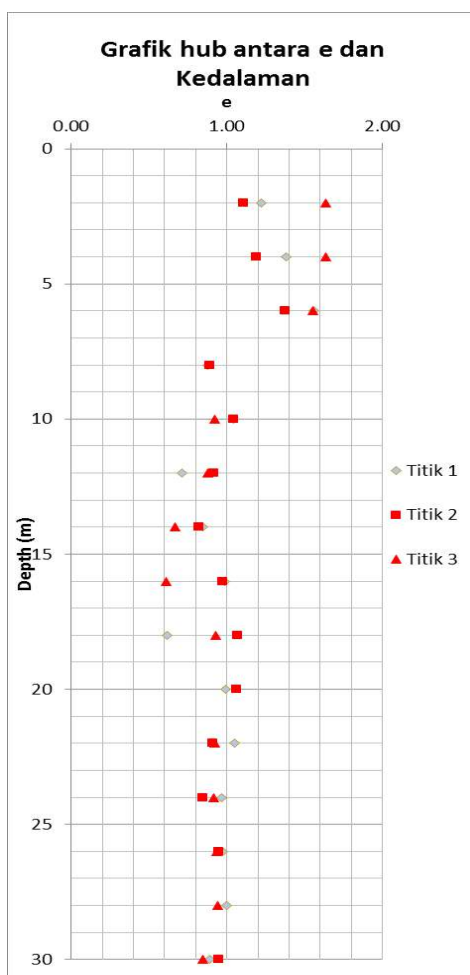
KEDALAMAN	Berat Jenis (Gs)				
	Titik 1	Titik 2	Titik 3	rata2	use
2	2.73	2.85	2.85	2.81	2.80
4	2.74	2.91	2.85	2.83	
6	2.72	2.66	2.63	2.67	3.18
8	2.69	2.72	6.01	3.81	
10	2.87	2.96	2.78	2.87	2.69
12	2.64	2.71	2.66	2.67	
14	2.79	2.63	2.33	2.58	
16	2.88	2.70	2.60	2.73	
18	2.83	2.71	2.68	2.74	
20	2.82	2.57	1.74	2.38	
22	2.91	2.75	2.71	2.79	
24	2.72	2.72	2.69	2.71	
26	2.75	2.77	2.78	2.76	2.78
28	2.79	2.81	2.81	2.81	
30	2.83	2.78	2.82	2.81	

Tanah Soft							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
2.00	2.73	2.85	2.85	2.80	0.089	3%	Oke
4.00	2.74	2.91	2.85				
6.00		2.66					

Tanah Medium							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
6	2.72		2.63	2.71	0.087	3%	Oke
8	2.69	2.72					
10	2.87						
12	2.64						

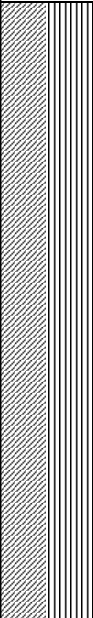
Tanah Very Stiff							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
10	2.79	2.96	2.78	2.69	0.239	9%	Oke
12	2.88	2.71	2.66				
14	2.83	2.63	2.33				
16	2.82	2.70	2.60				
18	2.91	2.71	2.68				
20	2.72	2.57	1.74				
22	2.75	2.75	2.71				
24	2.79	2.72					
26	2.83						

Tanah Hard							
Kedalaman	u1	u2	u3	Mean	STDV	CV	Keterangan
24			2.69	2.779859	0.043	2%	Oke
26		2.77	2.78				
28		2.81	2.81				
30		2.78	2.82				



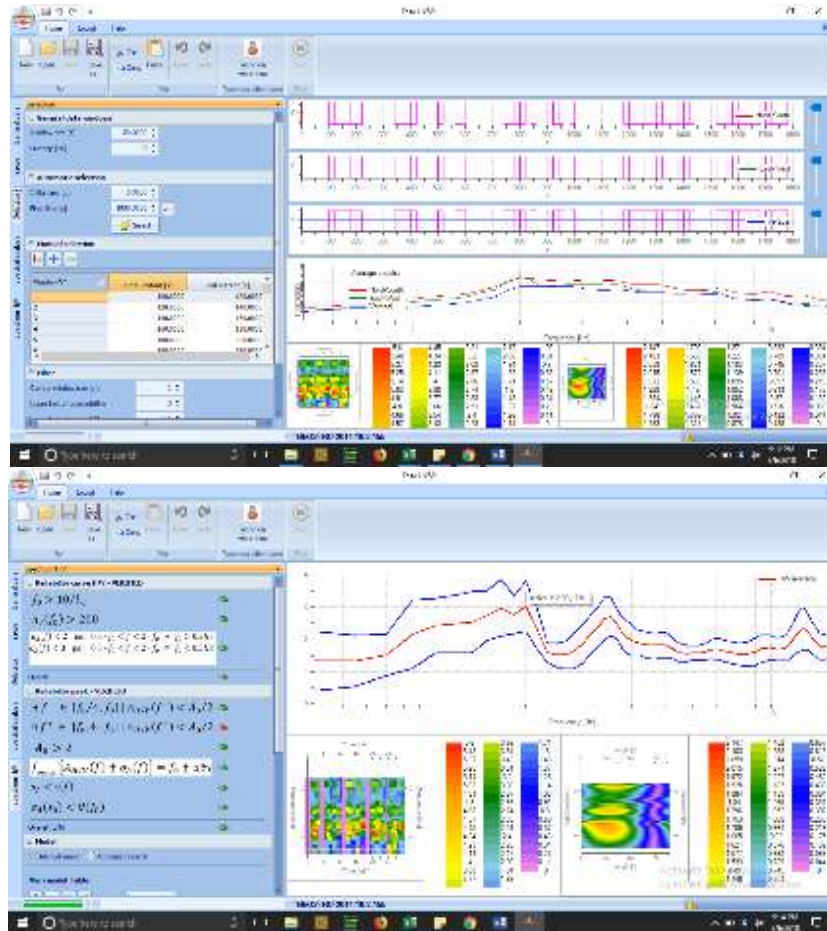
Layer	Kedalaman (m)			H (m)	Deskripsi	k (m/day)	C_{ref} (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	ϕ	μ	m_v	E (kN/m ²)
1	0	-	4	4	Clay	0.001852	15	16.98	0	0.3	0.319	3135
2	4	-	8	4	Clay	0.003309	24.08	18.08	0	0.3	0.208	4808
3	8	-	24	16	Clay	0.004032	42.10	18.58	0	0.3	0.15	6667
4	24	-	30	6	Clay	0.003741	56.09	18.37	0	0.3	0.16	6250

LOCATION				TPA Ngipik, Gresik				BH 1, Sumur Monitoring 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
COORDINATES								DATE COMMENCED				30-Jun-16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
GROUND ELEVATION								DATE COMPLETED				3-Jul-16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
BORING METHODE								SOIL & MAT ENGINEER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
BOR MACHINE TYPE								BOR MASTER/DRILLER				Harno, ST																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
TOTAL DEPTH (- m)				30,0 m				SHEET No				1 of 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
DEPTH (-m)	Thickness (m)	G.W.L. (m)	SYMBOL	VISUAL DESCRIPTION	COLOUR	UNDISTURBED SAMPLES	SPT No.	STANDARD PENETRATION TEST (ASTM - D.1586)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
								N VALUE						NUMBER OF BLOWS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
								15 Cm	30 Cm	45 Cm				0	10	20	30	40	50	60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1				Gravelly Clay		2.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												</

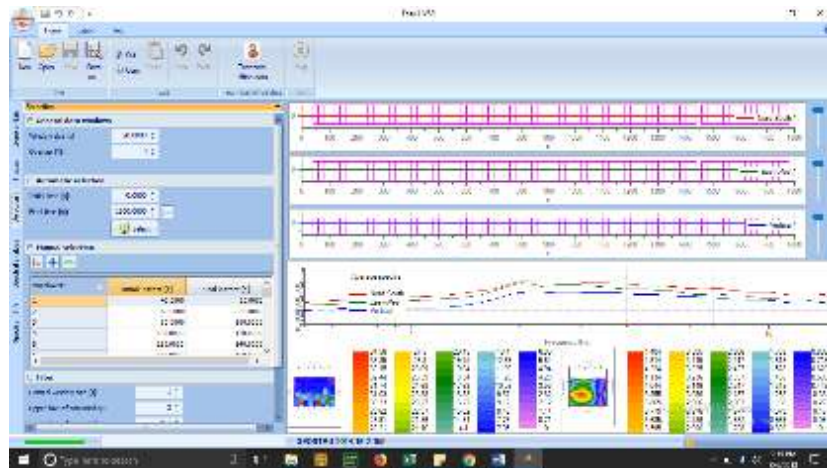
LOCATION				TPA Ngipik, Gresik				BH 2, IPAL																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
COORDINATES								DATE COMMENCED				26-Jun-16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
GROUND ELEVATION								DATE COMPLETED				29-Jun-16																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
BORING METHODE								SOIL & MAT ENGINEER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
BOR MACHINE TYPE								BOR MASTER/DRILLER				Harno, ST																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
TOTAL DEPTH (- m)				30,0 m				SHEET No				2 of 3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
DEPTH (-m)	Thickness (m)	G.W.L. (m)	SYMBOL	VISUAL DESCRIPTION	COLOUR	UNDISTURBED SAMPLES	SPT No.	STANDARD PENETRATION TEST (ASTM - D.1586)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
								N VALUE				NUMBER OF BLOWS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
								15 Cm	30 Cm	45 Cm	N	0 10 20 30 40 50 60																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
1						2.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											

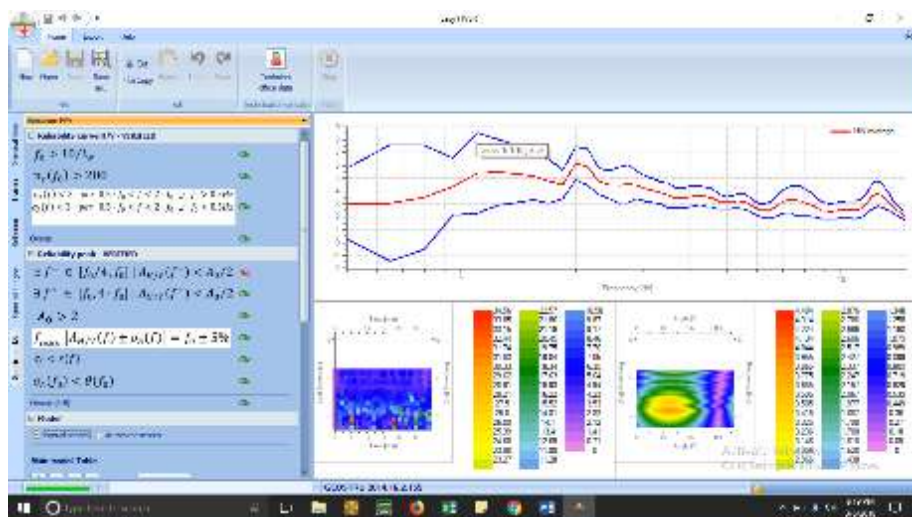
LAMPIRAN 2

Titik 3

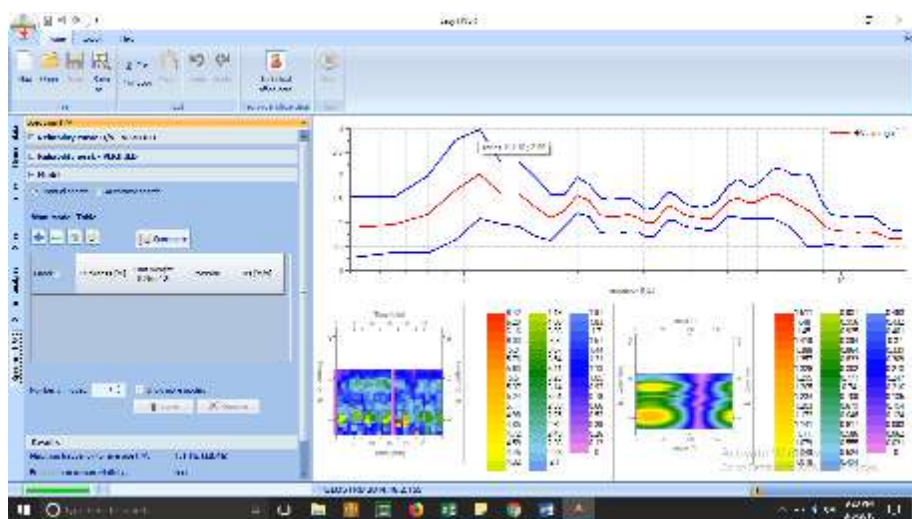
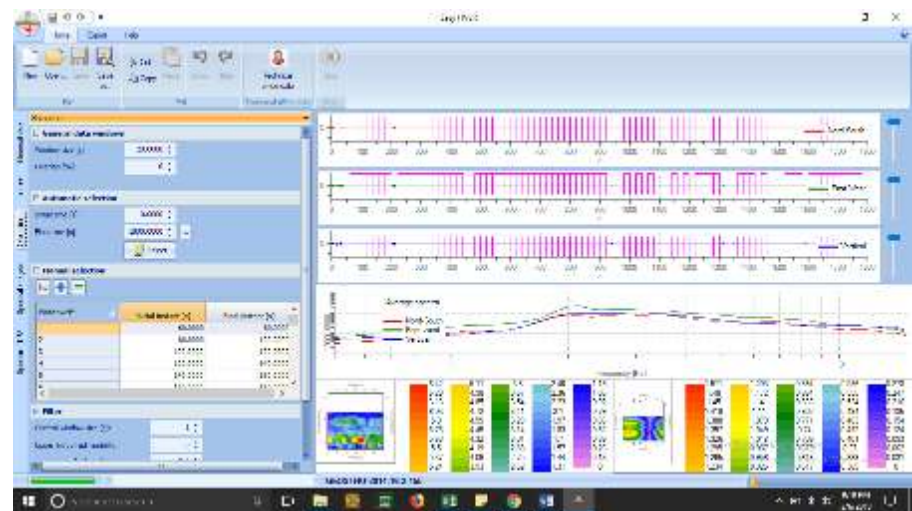


Titik 4

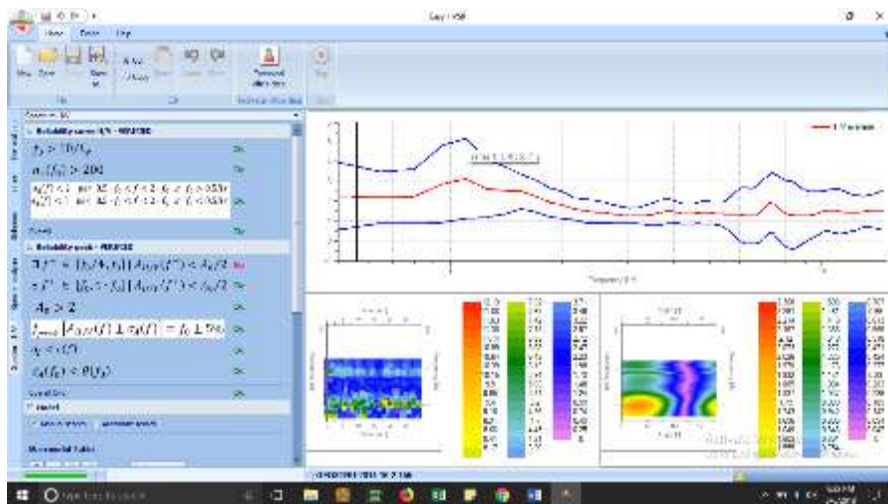
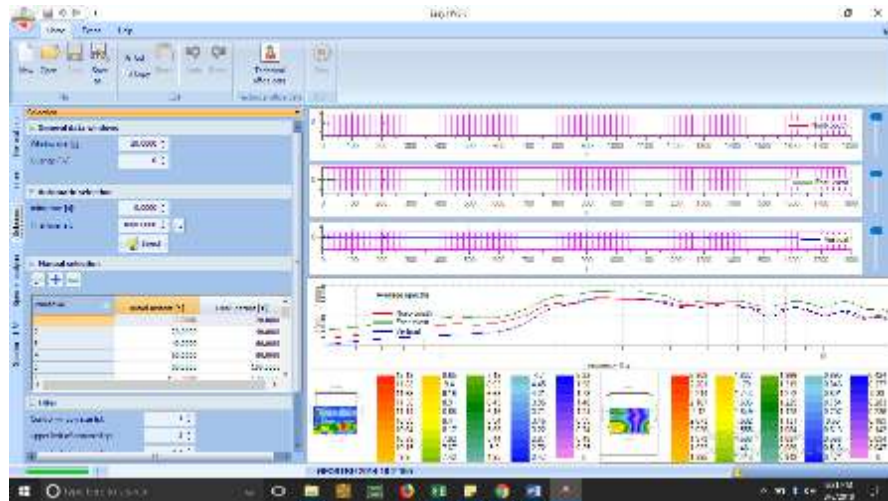




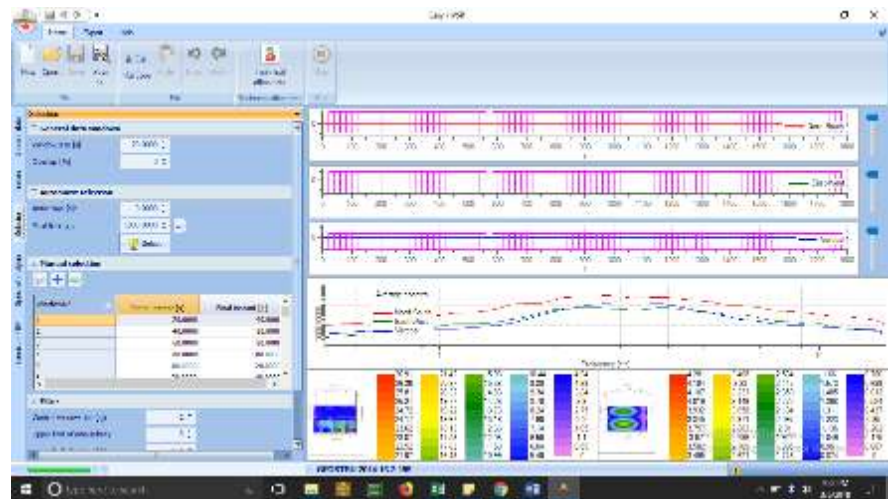
Titik 6

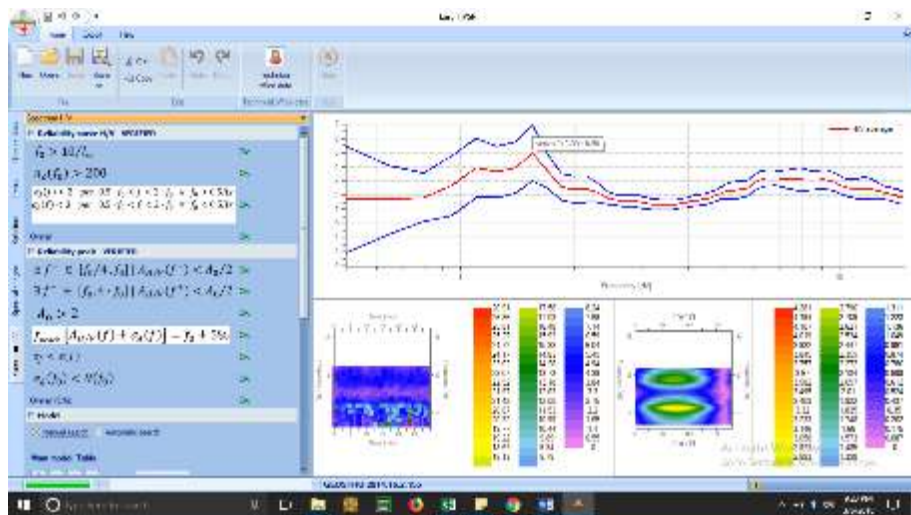


Titik 7

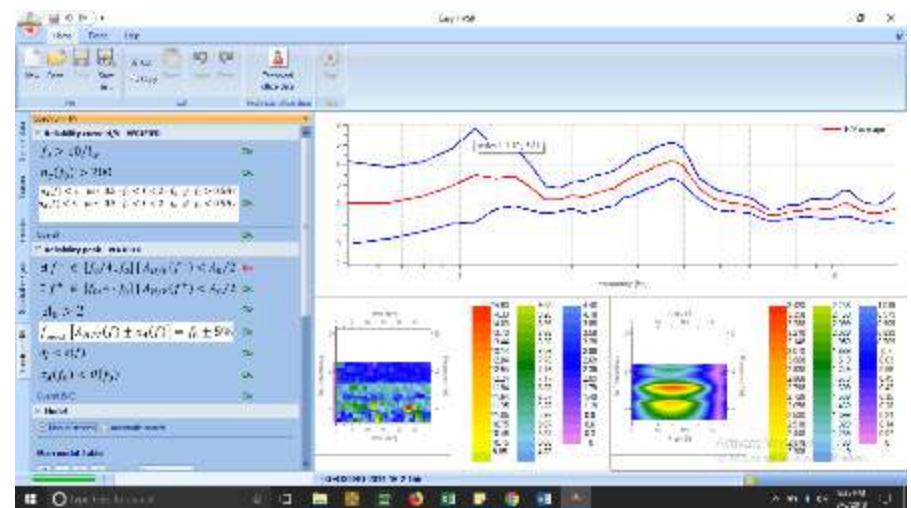
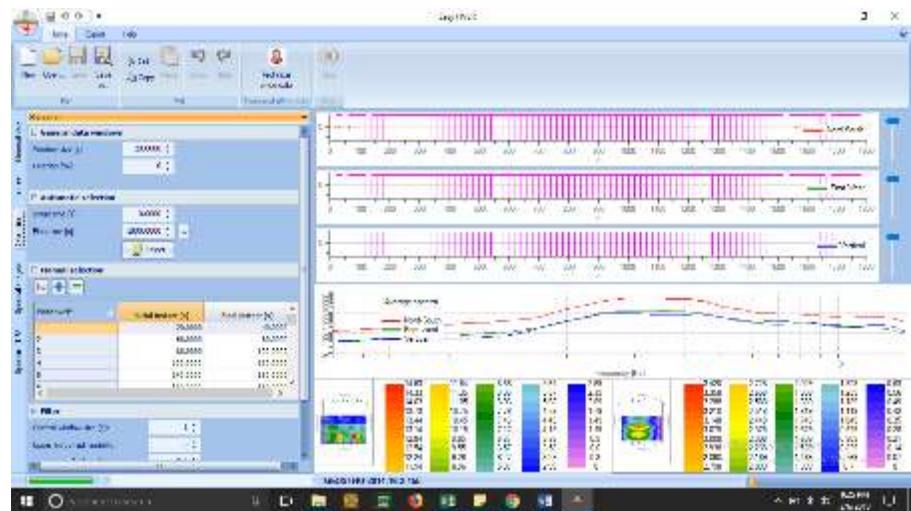


Titik 9

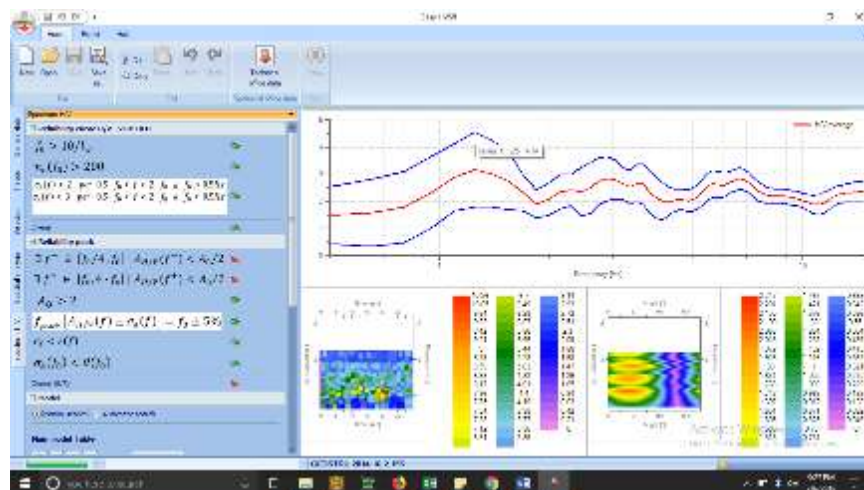
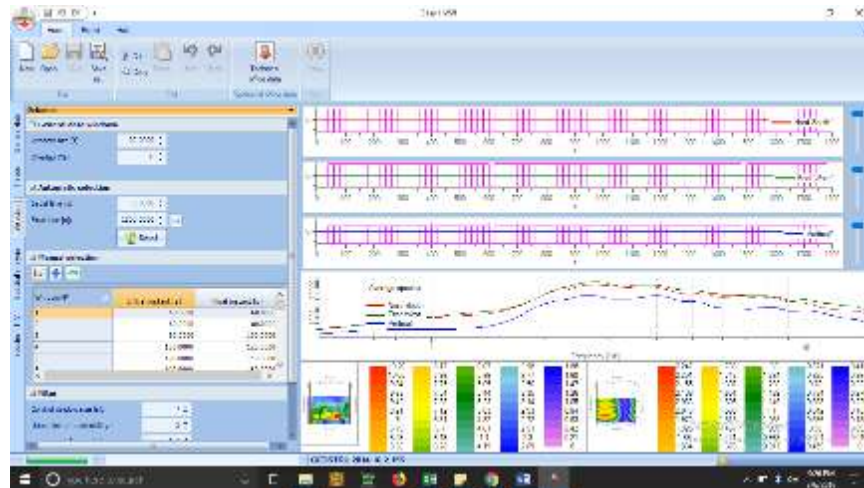




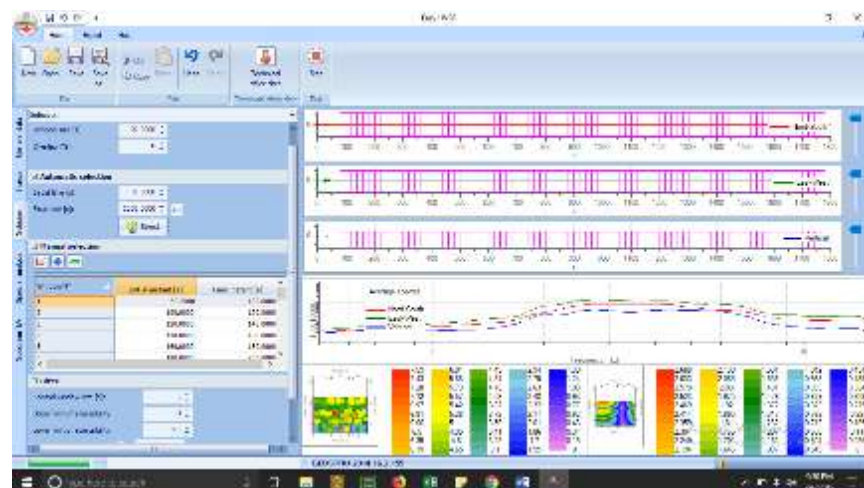
Titik 12

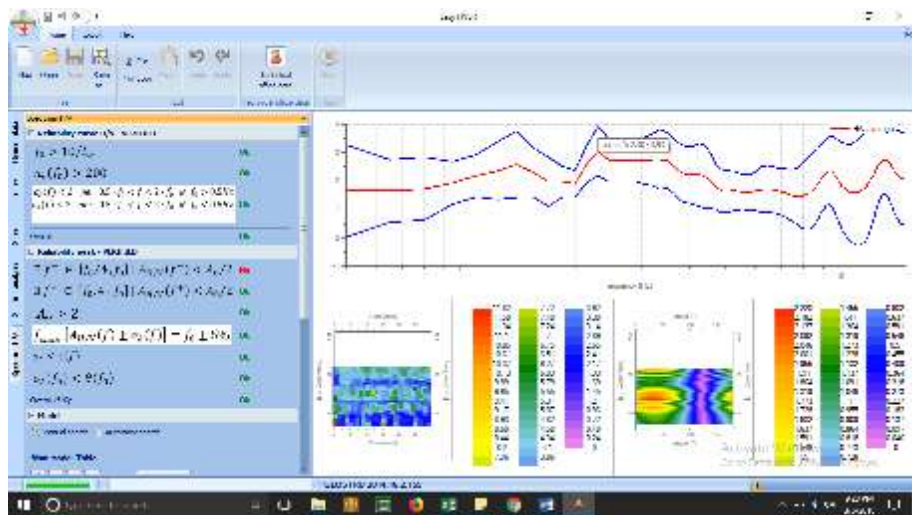


Titik 13

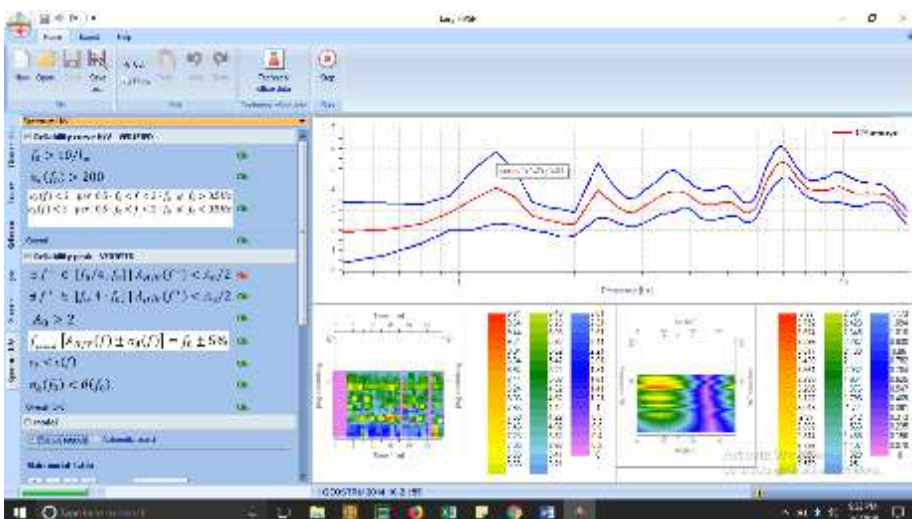
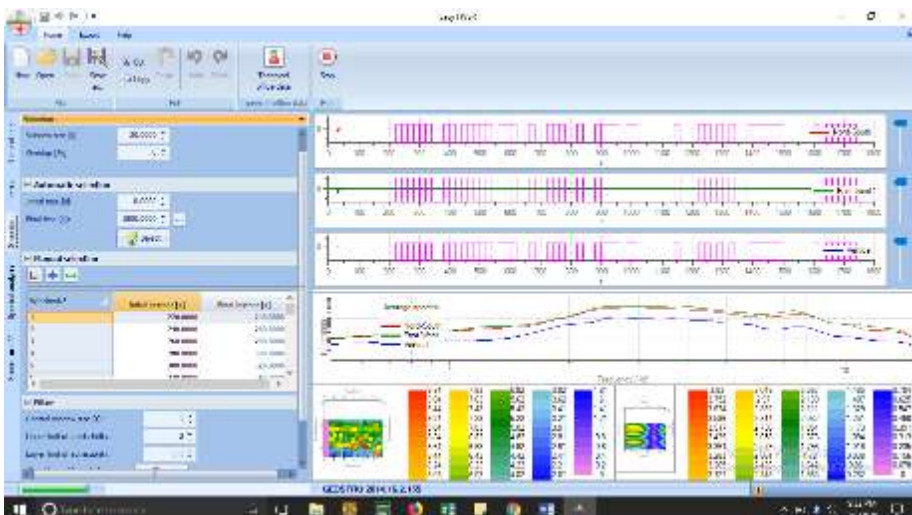


Titik 14

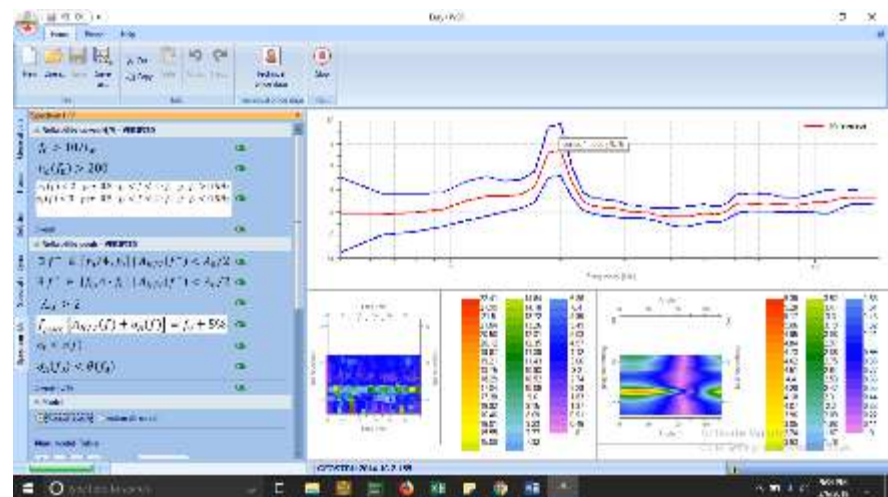
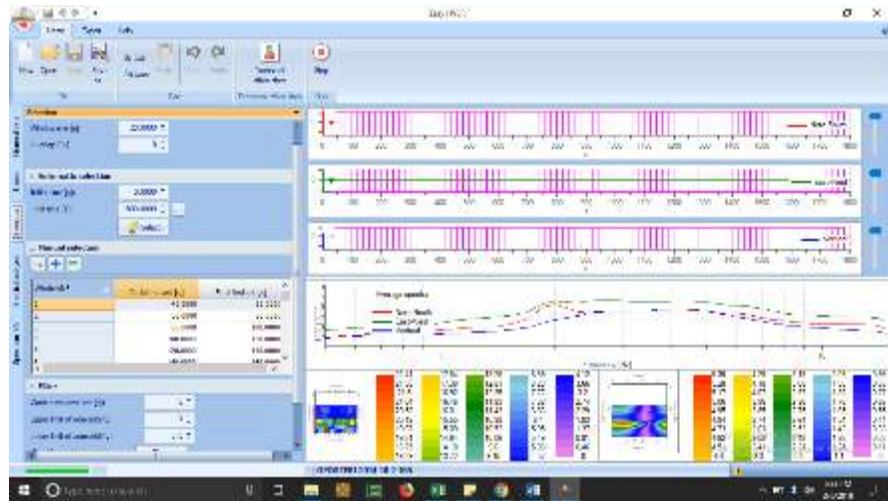




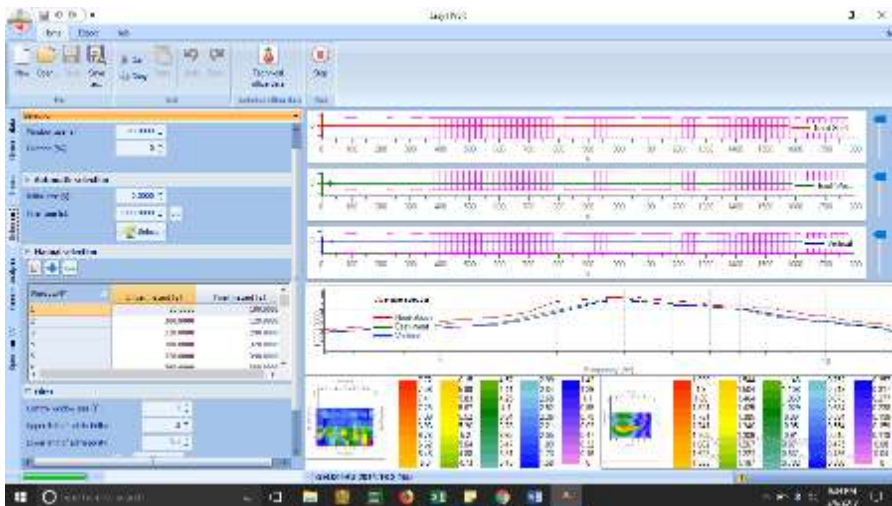
Titik 15

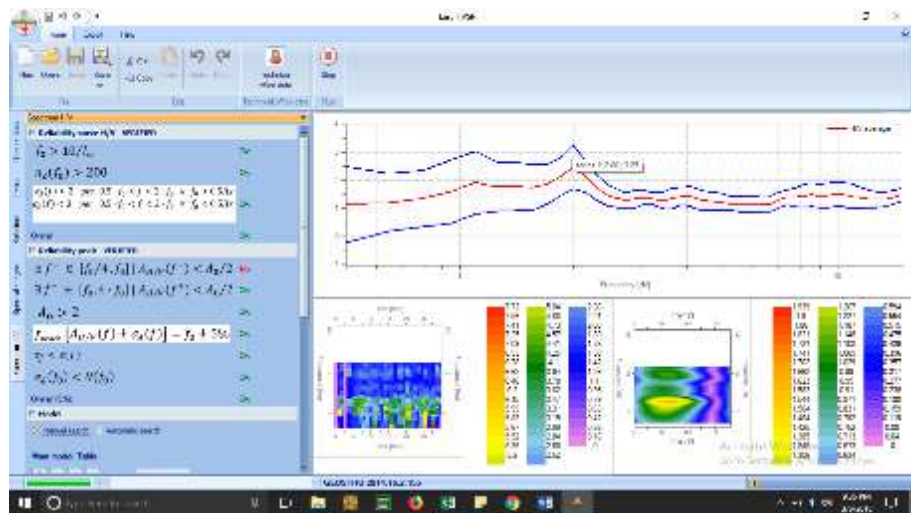


Titik 18

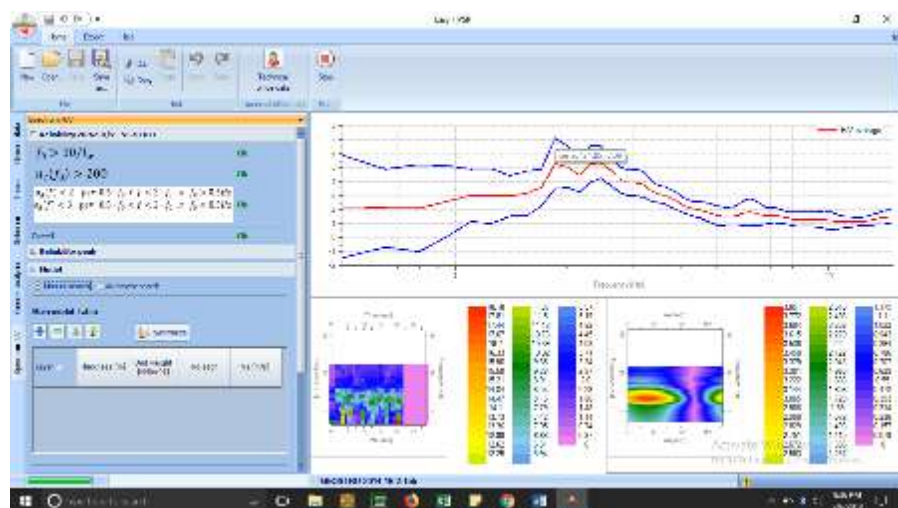
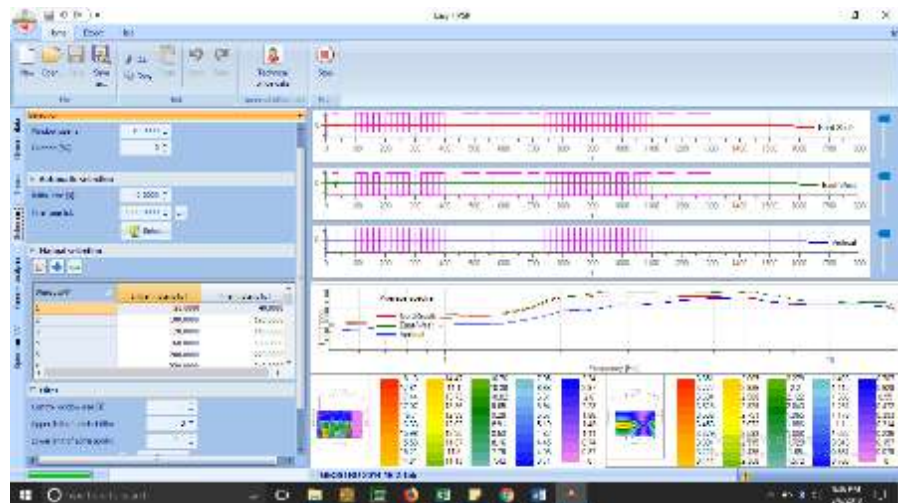


Titik 20

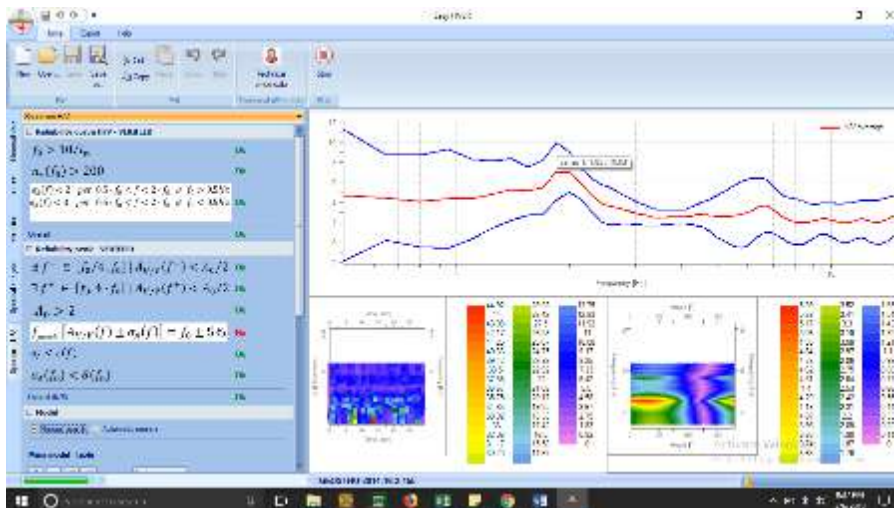
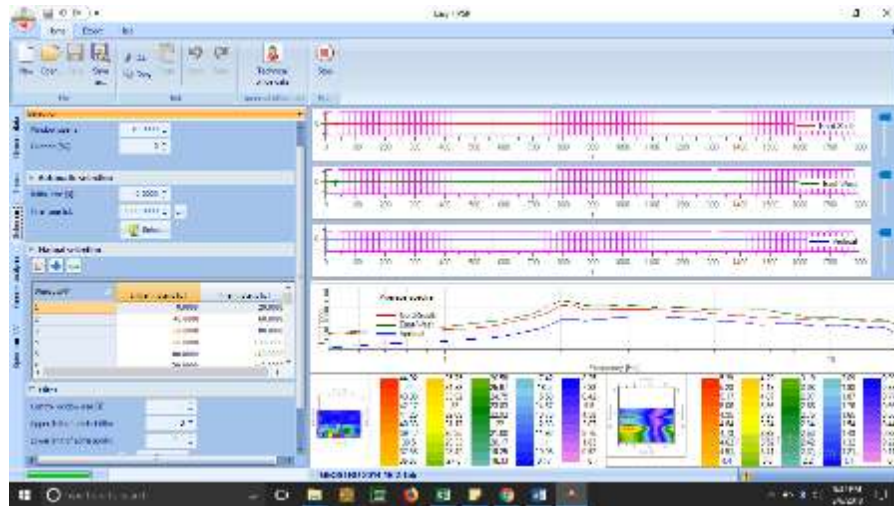




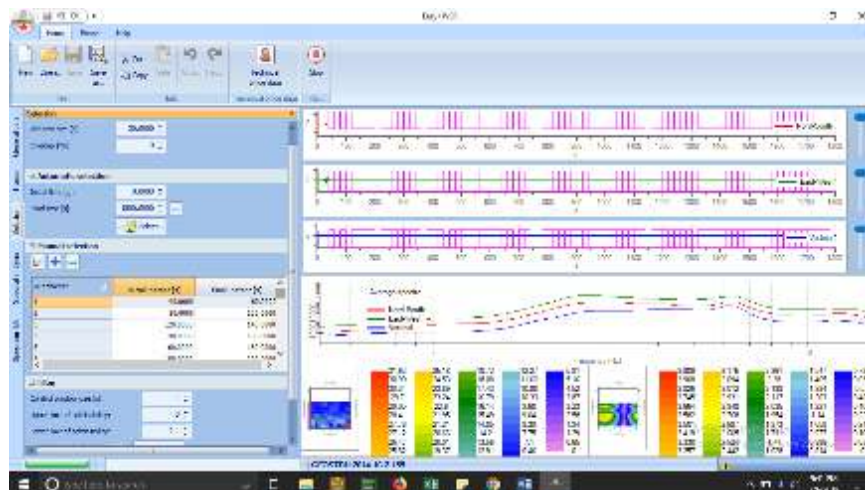
Titik 24

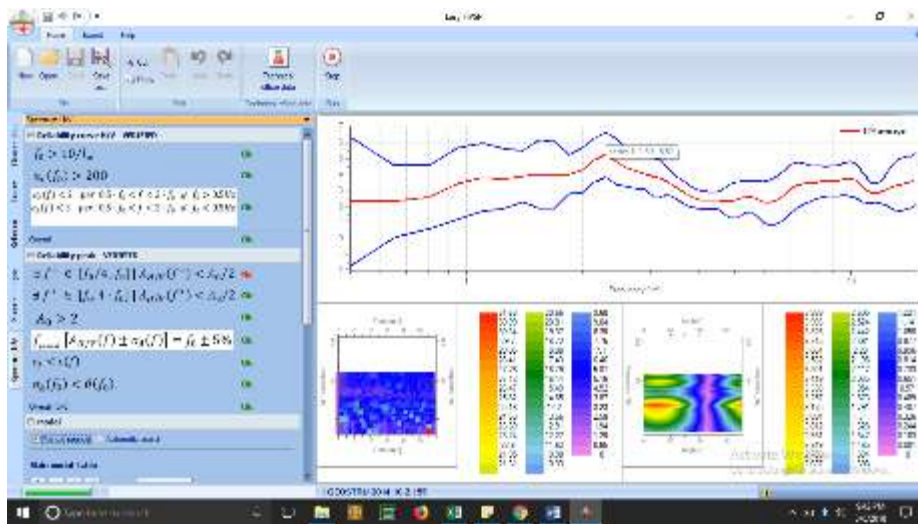


Titik 31



Titik 33



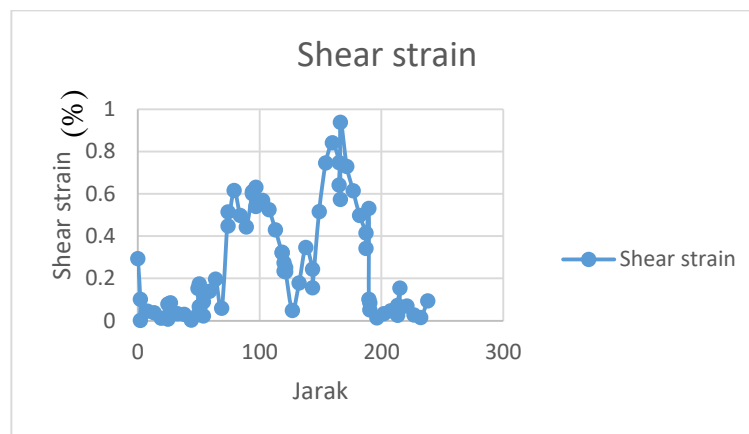
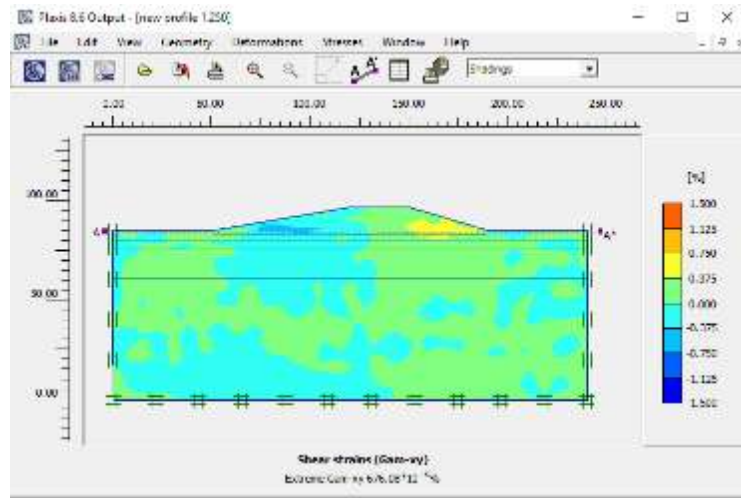


TABEL REKAP HASIL ANALISIS MIKROTREMOR

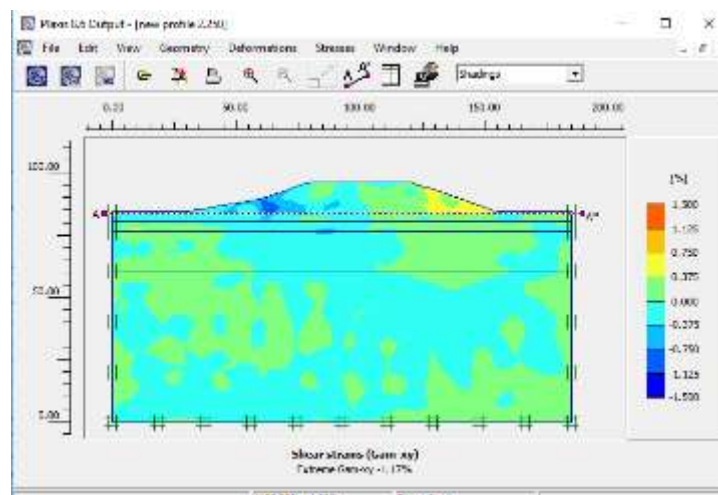
No	Nama Titik	Koordinat DMS		Easy HVSr		Kg	Hbedrock (depth)	Shear strain
		Lat	Long	fo	Ao			
1	Titik 3	680296.099	9208878.055	2.15	2.33	2.5	69.76744	8.366E-04
2	Titik 4	680247.697	9208900.039	2	6.15	18.9	75	6.266E-03
3	Titik 6	680169.133	9208895.709	1.1	2.04	3.8	136.3636	1.253E-03
4	Titik 7	680136.222	9208873.093	1.1	3.16	9.1	136.3636	3.008E-03
5	Titik 9	680042.761	9208907.831	1.55	4.99	16.1	96.77419	5.323E-03
6	Titik 12	680018.942	9209026.495	3.65	4.71	6.1	41.09589	2.014E-03
7	Titik 13	680022.142	9209063.655	1.25	3.16	8.0	120	2.647E-03
8	Titik 14	680043.817	9209119.181	2.3	3.06	4.1	65.21739	1.349E-03
9	Titik 15	680060.223	9209159.674	1.25	4.26	14.5	120	4.810E-03
10	Titik 18	680110.443	9209304.495	2	7.49	28.1	75	9.294E-03
11	Titik 20	680196.745	9209240.905	2	2.48	3.1	75	1.019E-03
12	Titik 24	680343.555	9209108.288	1.85	5.48	16.2	81.08108	5.378E-03
13	Titik 31	680283.339	9209086.69	1.85	7.16	27.7	81.08108	9.181E-03
14	Titik 33	680094.708	9209020.39	2.3	5.22	11.8	65.21739	3.925E-03

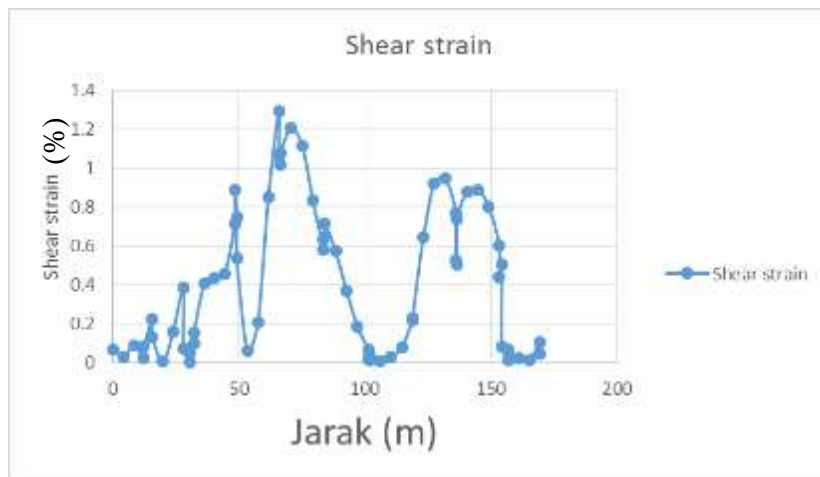
LAMPIRAN 3

Eksisting Profil 1

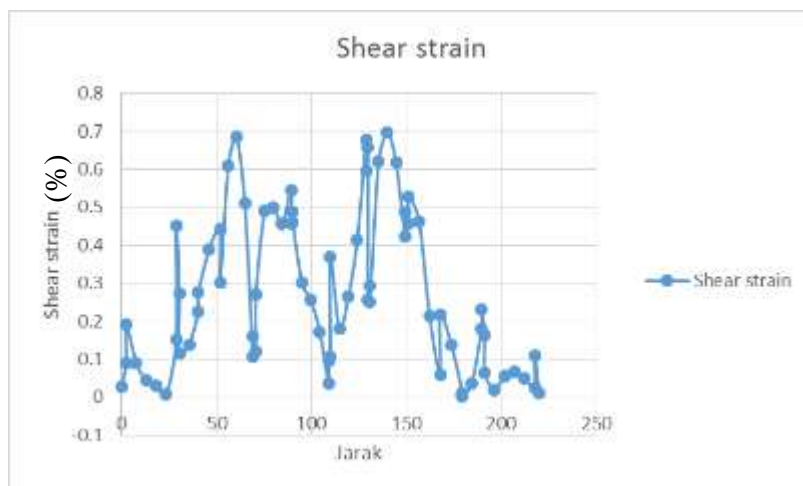
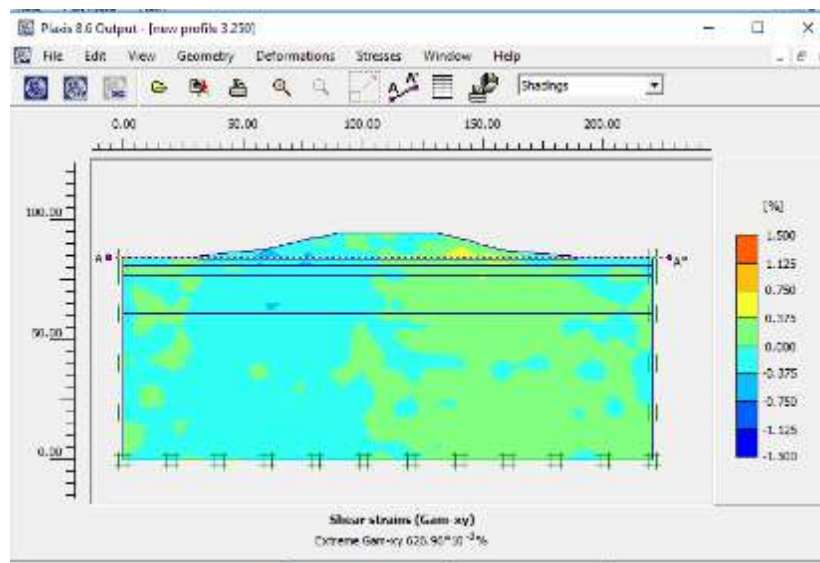


Profil 2

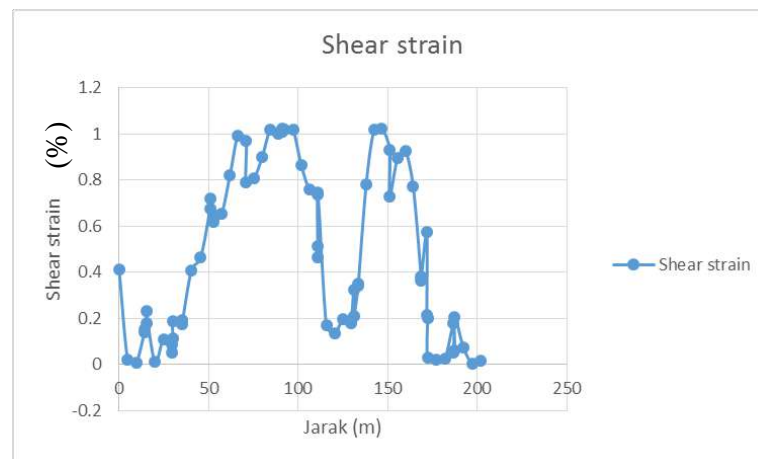
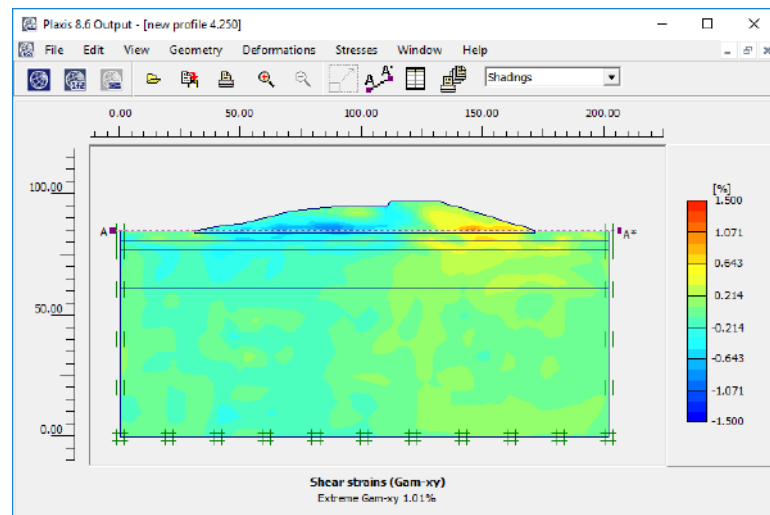




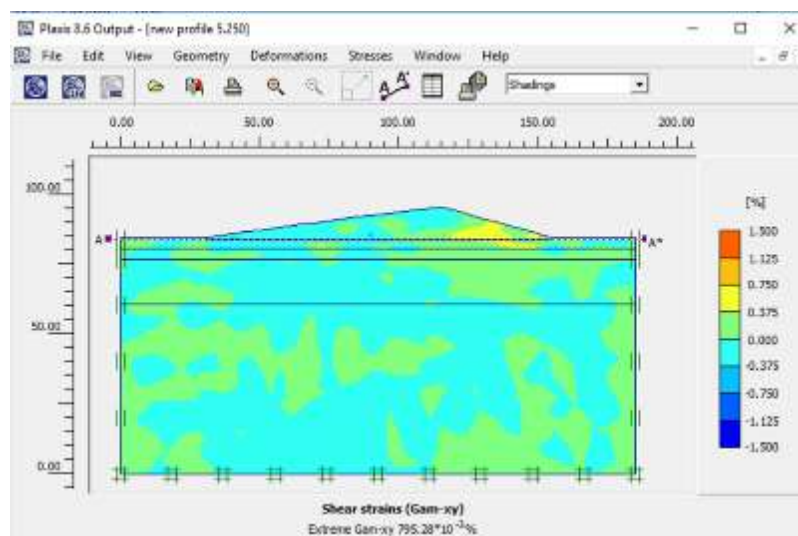
Profil 3

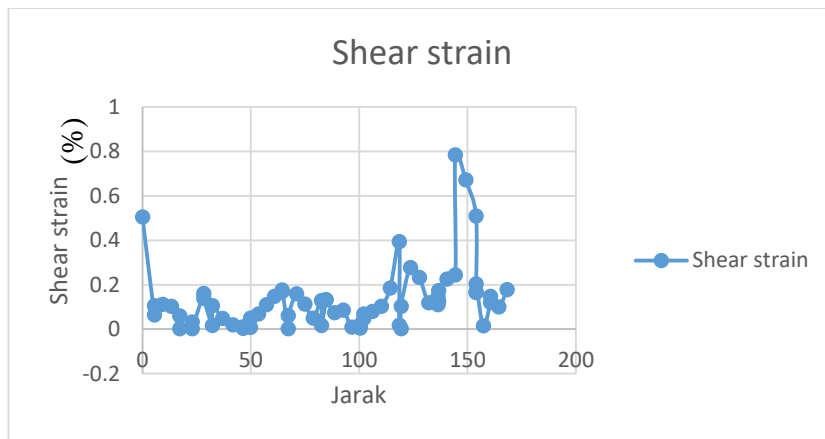


Profil 4



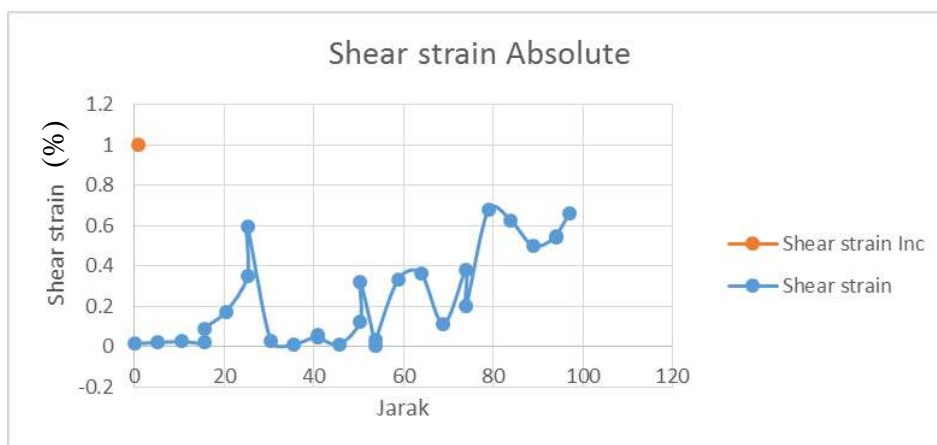
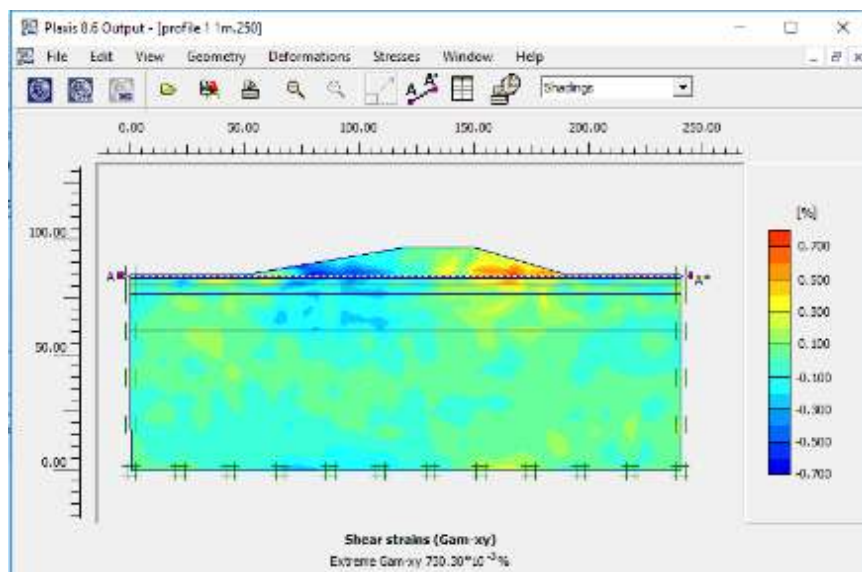
Profil 5



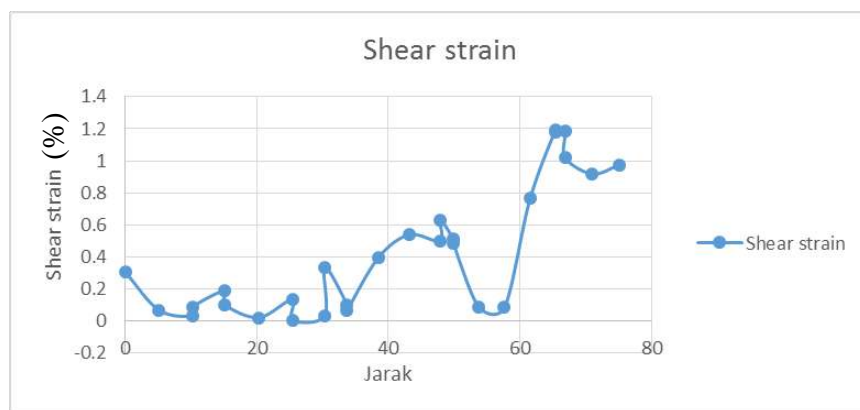
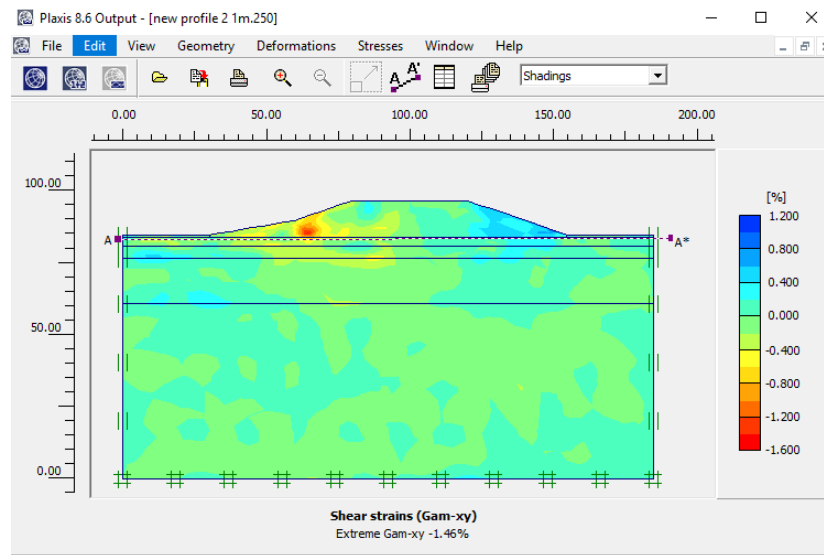


Clay liner 1m

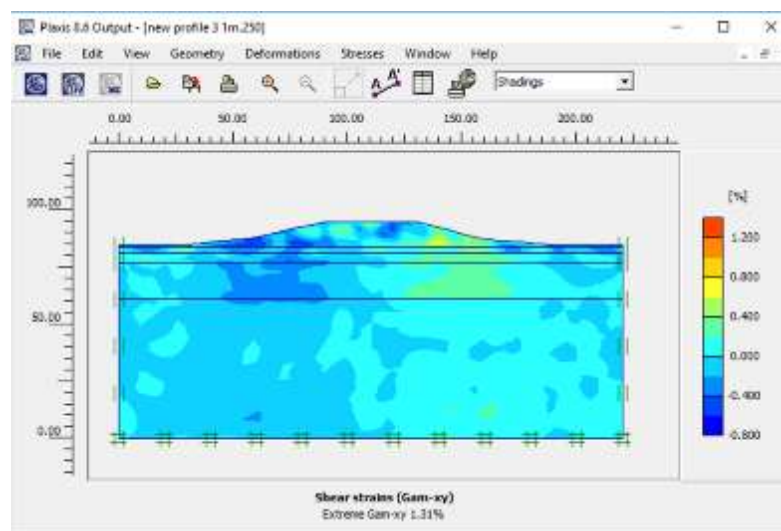
Profil 1

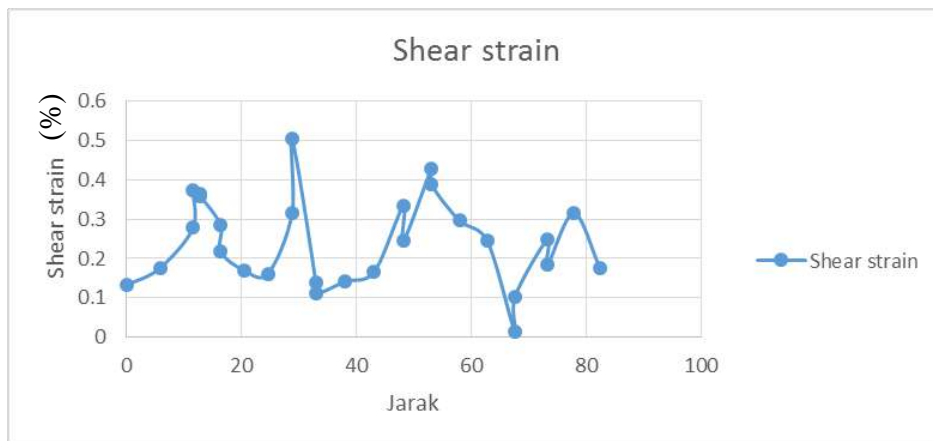


Profil 2

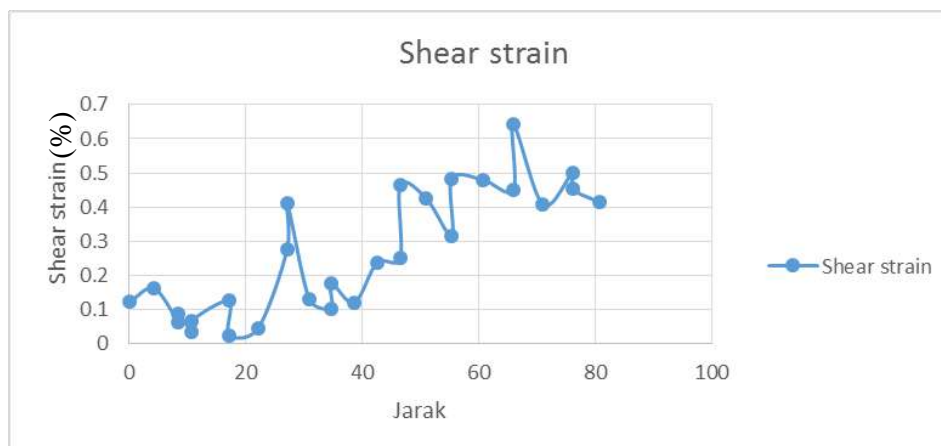
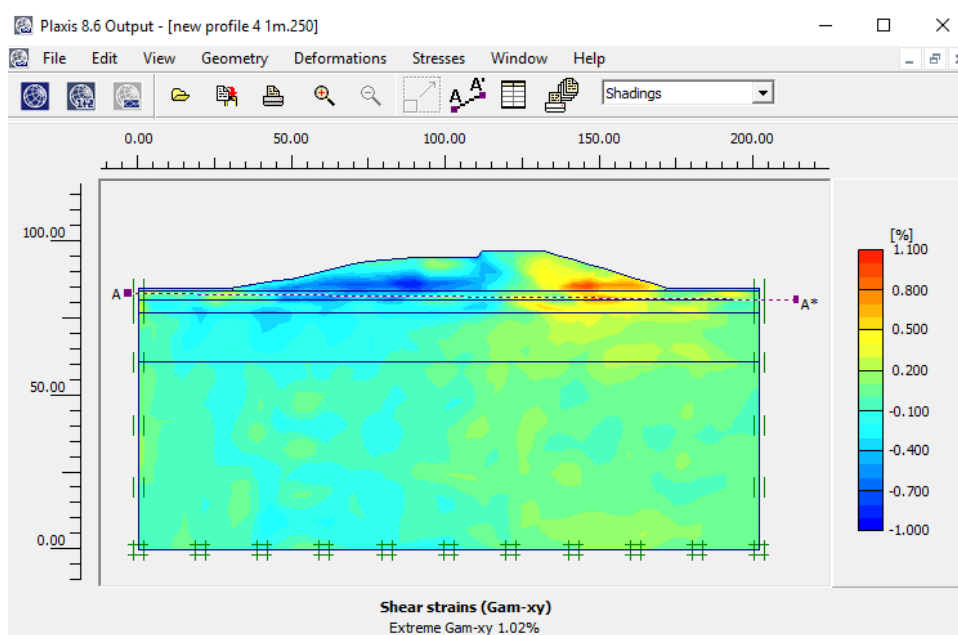


Profil 3

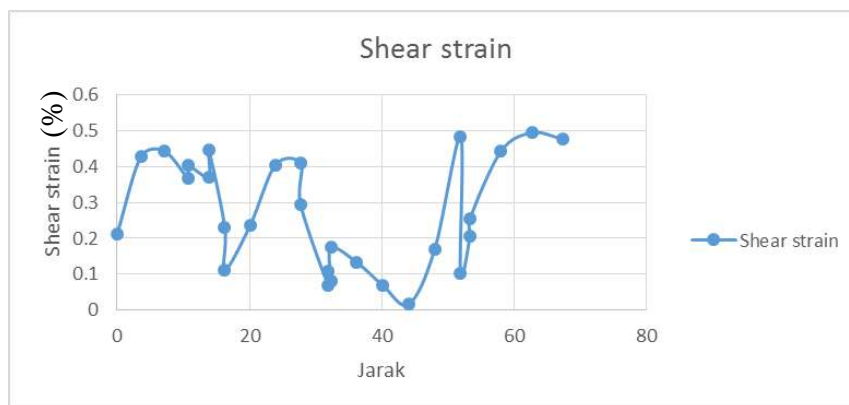
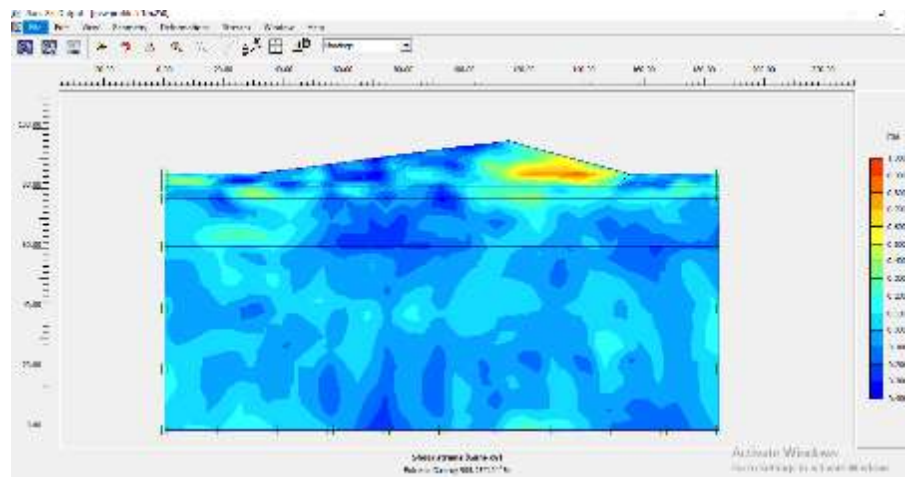




Profil 4

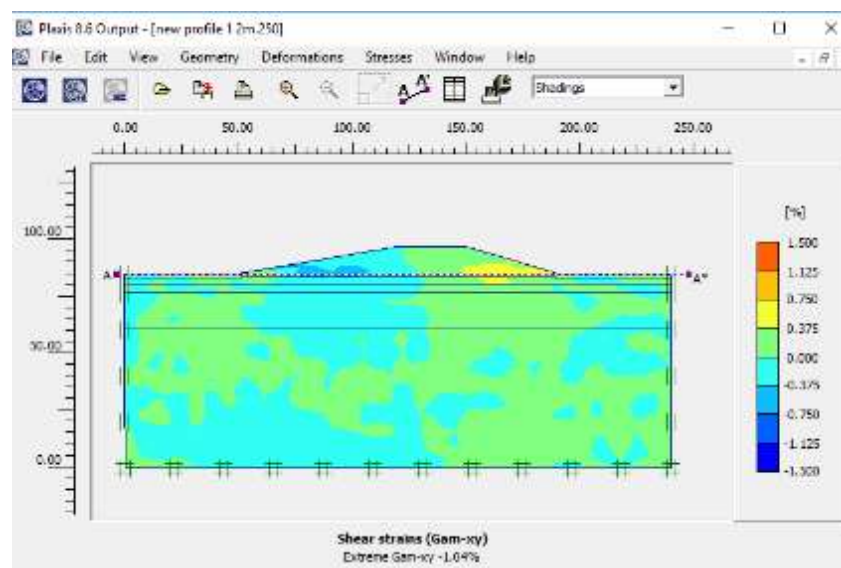


Profil 5

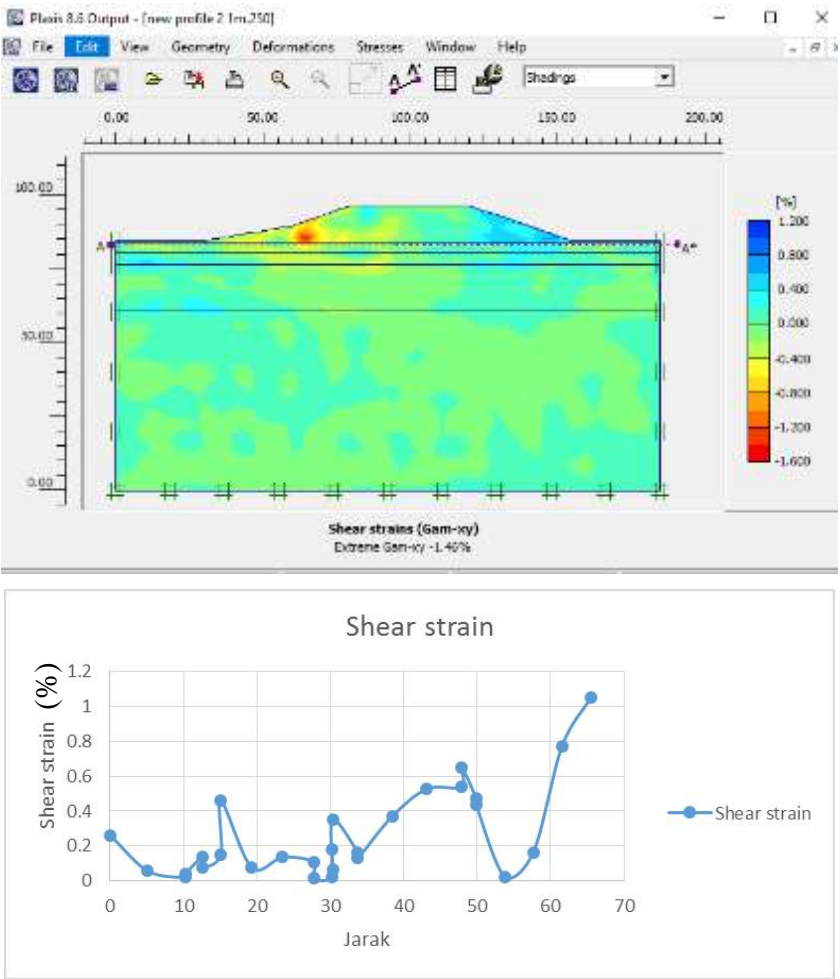


Clay liner 2m

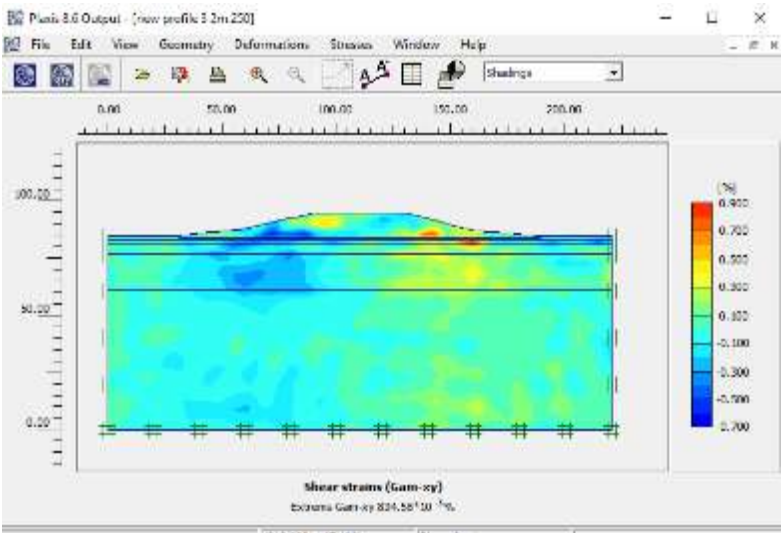
Profil 1

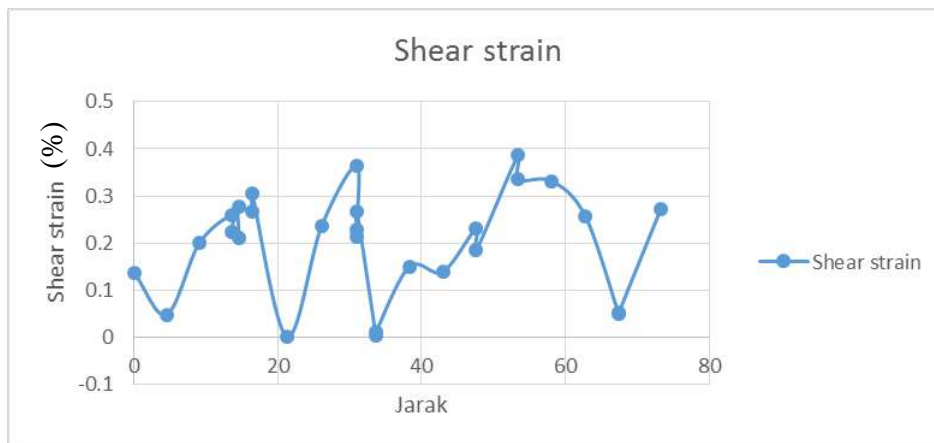


Profil 2

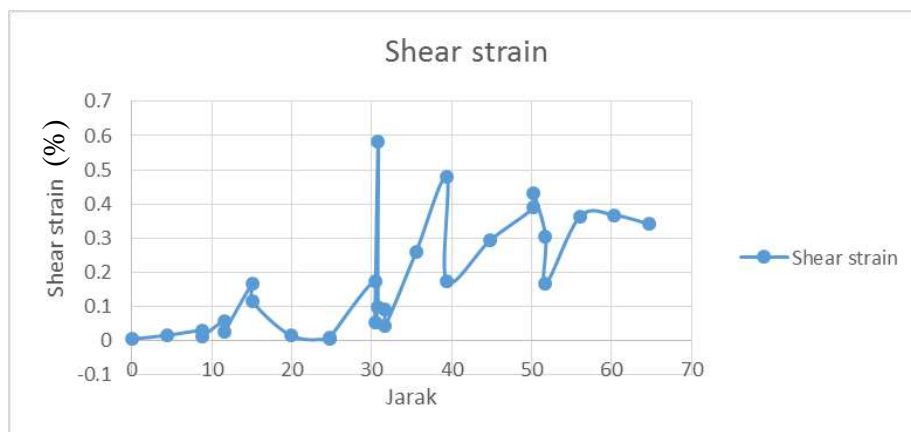
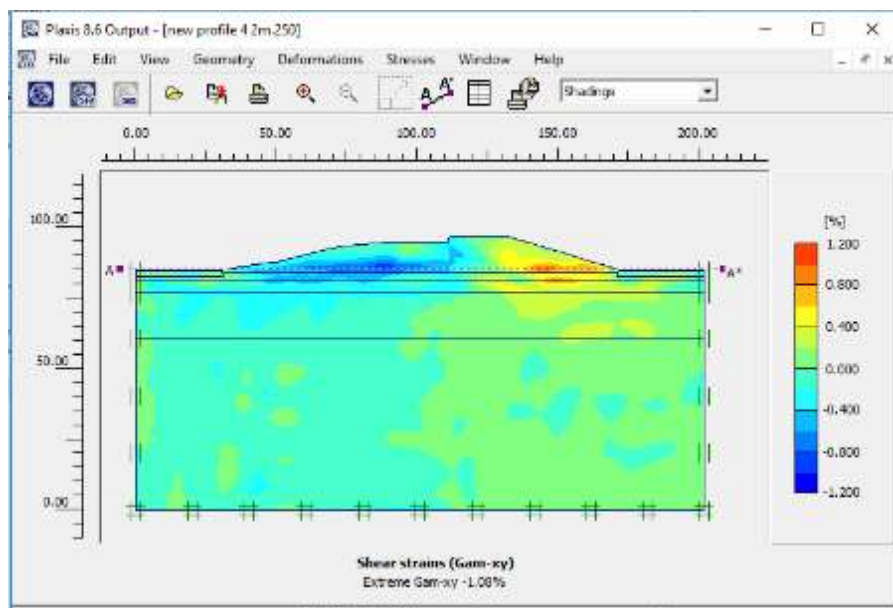


Profil 3

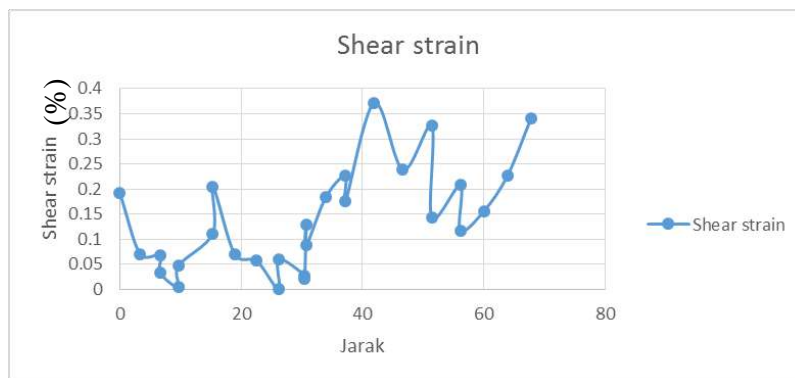
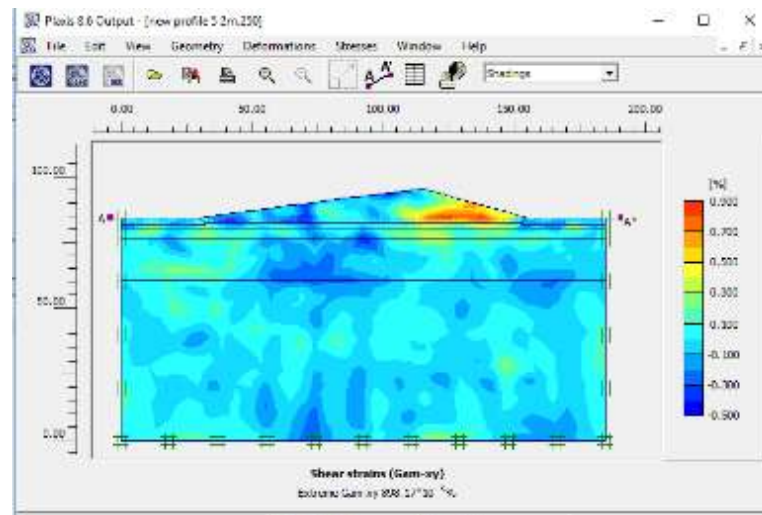




Profil 4

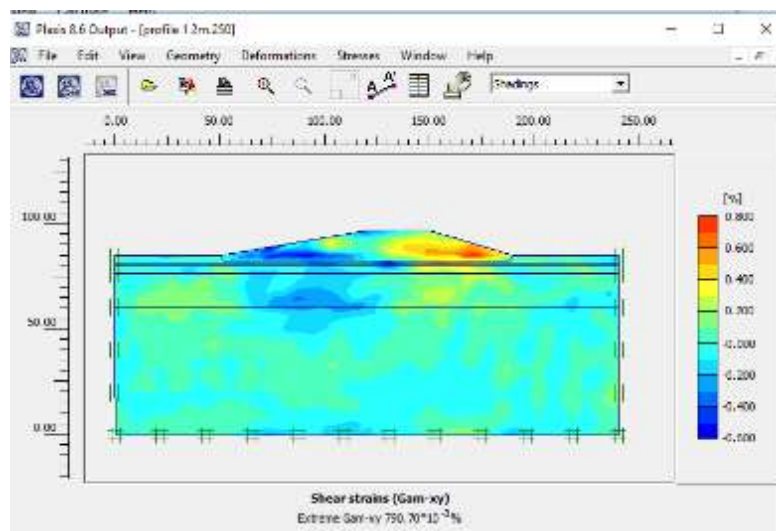


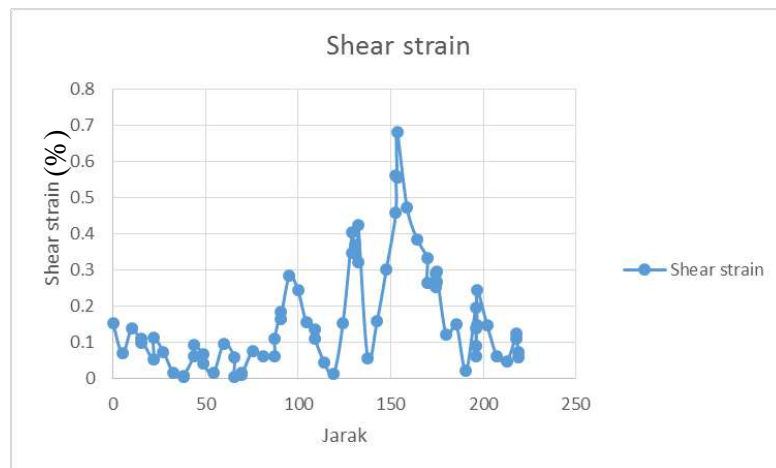
Profil 5



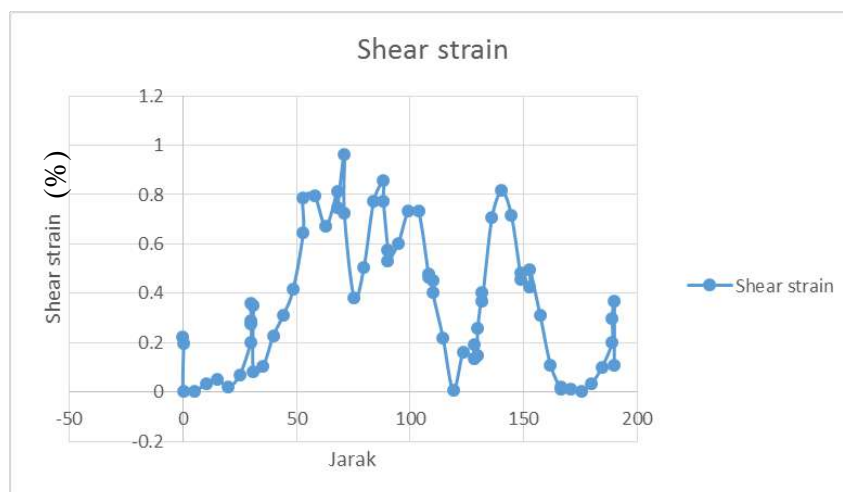
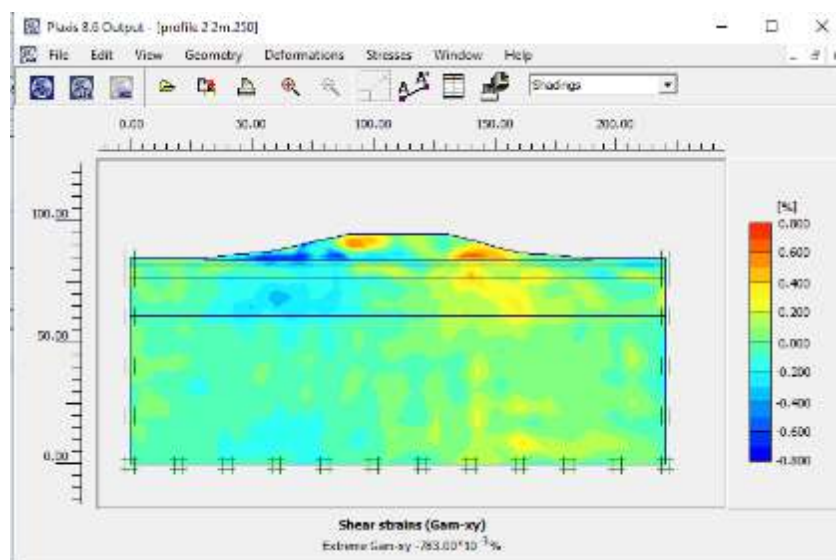
Clay liner 2m seluruh bawah timbunan (sesuai EPA)

Profil 1

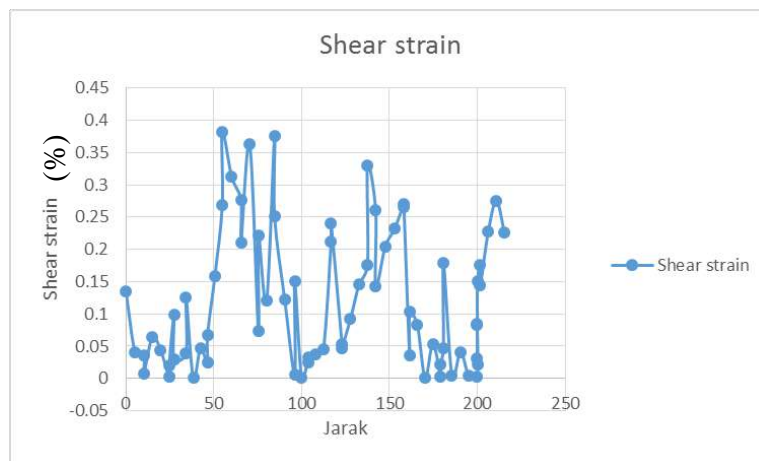
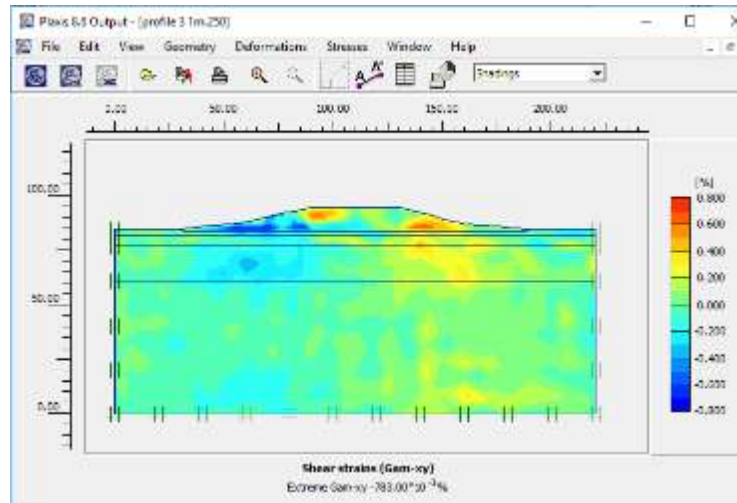




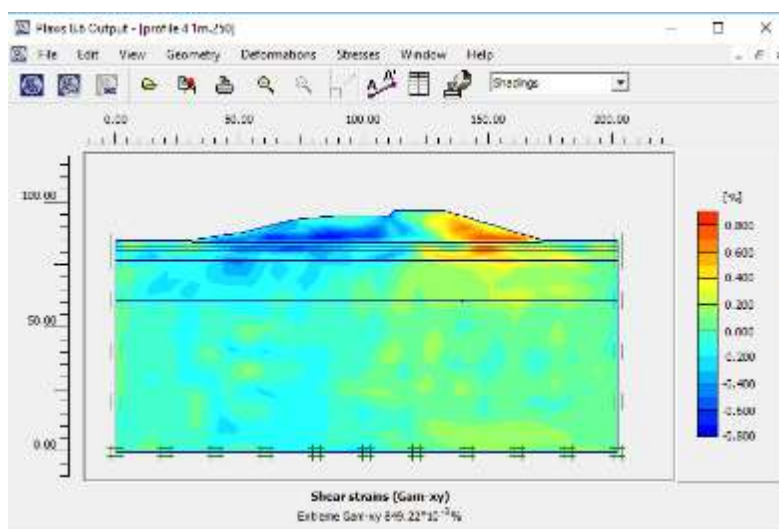
Profil 2

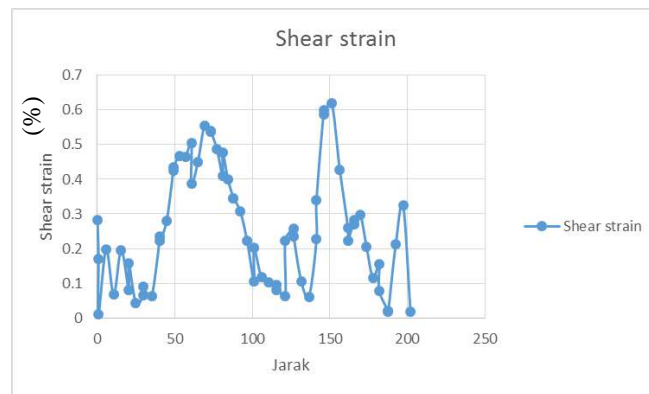


Profil 3

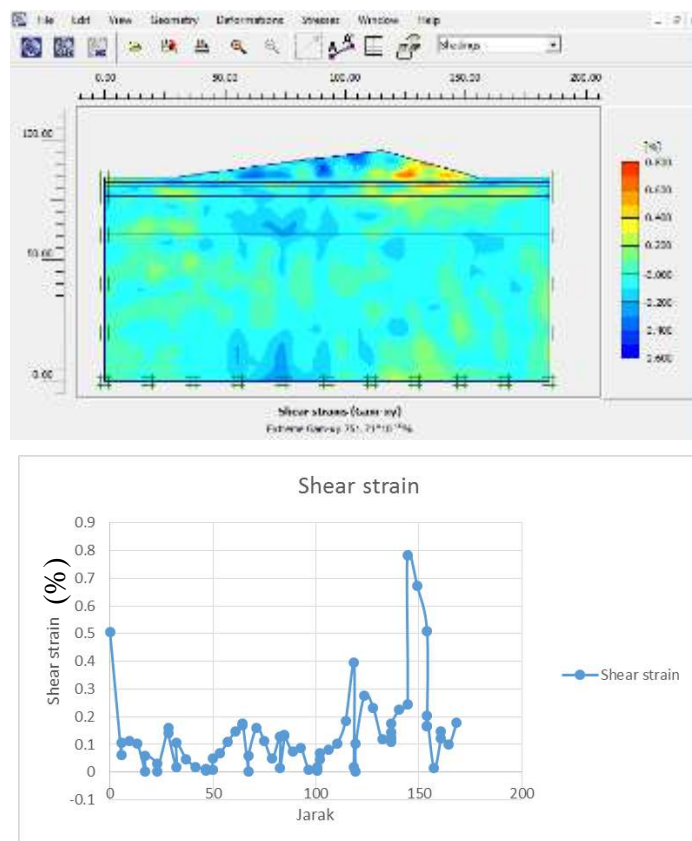


Profil 4





Profil 5



REKAP HASIL SHEAR STRAIN DI SETIAP PROFILE BERDASARKAN PERGANTIAN CLAY LINER

Kondisi	Profile 1	Profile 2	Profile 3	Profile 4	Profile 5
0	0.009373	0.01294308	0.00627	0.010237	0.010159
1	0.009177	0.01196237	0.005054	0.008638	0.008694
2	0.008231	0.010624864	0.004171	0.008159	0.008431
EPA	0.006813	0.009630892	0.003825	0.006186	0.007841

Tabel Selisih perhitungan shear strain mikrotremor dan plaxis

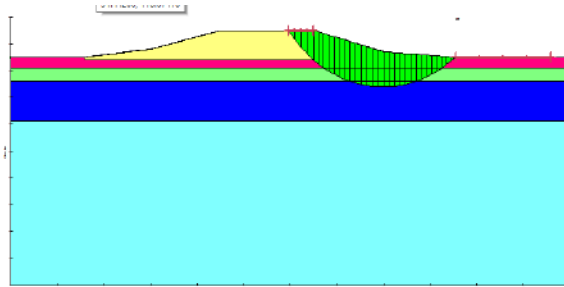
Koordinat		Plaxis	Mikrotremor	Selisih
Long	lat			
680099.4	9208908.72	0.009705134	0.006850341	29%
680102.7	9208908.72	0.009721302	0.006858532	29%
680106	9208908.72	0.009738631	0.006858672	30%
680109.3	9208908.72	0.009757166	0.006849389	30%
680112.6	9208908.72	0.009776951	0.0068296	30%
680115.9	9208908.72	0.009798029	0.006798699	31%
680119.2	9208908.72	0.009820441	0.006756678	31%
680122.5	9208908.72	0.009844225	0.00470412	52%
680125.8	9208908.72	0.00986942	0.004642062	53%
680129.1	9208908.72	0.00989606	0.00457181	54%
680132.4	9208908.72	0.009924177	0.004494737	55%
680135.7	9208908.72	0.009953799	0.005412158	46%
680139	9208908.72	0.009984952	0.007325248	27%
680142.4	9208908.72	0.010017656	0.007235014	28%
680145.7	9208908.72	0.010051929	0.006142306	39%
680149	9208908.72	0.010087782	0.006047834	40%
680152.3	9208908.72	0.010125223	0.006952198	31%
680155.6	9208908.72	0.010164252	0.006855914	33%
680158.9	9208908.72	0.010204865	0.007594513	26%
680162.2	9208908.72	0.010247051	0.006663253	35%
680165.5	9208908.72	0.010290791	0.005567771	46%
680168.8	9208908.72	0.010336059	0.0054735	47%
680172.1	9208908.72	0.010382822	0.005381014	48%
680175.4	9208908.72	0.010431035	0.005291017	49%
680178.7	9208908.72	0.010480647	0.006204415	41%
680182	9208908.72	0.010531594	0.006122401	42%
680185.3	9208908.72	0.010583803	0.006013775	43%
680188.7	9208908.72	0.010637185	0.006822292	36%
680192	9208908.72	0.010691641	0.0076423	29%
680195.3	9208908.72	0.010747056	0.005478012	49%
680198.6	9208908.72	0.010803297	0.005335052	51%
680201.9	9208908.72	0.010860213	0.006220487	43%
680205.2	9208908.72	0.010917634	0.007142165	35%
680208.5	9208908.72	0.010975364	0.007106964	35%
680211.8	9208908.72	0.011033179	0.007118295	35%
680215.1	9208908.72	0.011090827	0.007174437	35%

680218.4	9208908.72	0.011204421	0.007394064	34%
680221.7	9208908.72	0.011259656	0.007540744	33%
680225	9208908.72	0.011313288	0.007701943	32%
680228.3	9208908.72	0.011364817	0.00787172	31%
680231.7	9208908.72	0.011413667	0.007045201	38%
680235	9208908.72	0.011459175	0.007218195	37%
680238.3	9208908.72	0.011500582	0.007386815	36%
680241.6	9208908.72	0.011537025	0.006547128	43%
680244.9	9208908.72	0.011567524	0.005694826	51%
680248.2	9208908.72	0.011590993	0.005824928	50%
680251.5	9208908.72	0.011606246	0.006931528	40%
680254.8	9208908.72	0.011612034	0.006007716	48%
680258.1	9208908.72	0.011607092	0.00704584	39%
680261.4	9208908.72	0.011590217	0.006038356	48%
680264.7	9208908.72	0.011560367	0.006979303	40%
680268	9208908.72	0.011516756	0.005865924	49%
680271.3	9208908.72	0.011458944	0.006699532	42%
680274.7	9208908.72	0.01138689	0.00548503	52%
680278	9208908.72	0.011300946	0.005229417	54%
680281.3	9208908.72	0.011201812	0.007940224	29%
680284.6	9208908.72	0.011090454	0.006624539	40%
680287.9	9208908.72	0.010968	0.007288777	34%
680291.2	9208908.72	0.010835655	0.00793922	27%
680294.5	9208908.72	0.010694626	0.006784049	37%
680297.8	9208908.72	0.010546079	0.007741089	27%
680301.1	9208908.72	0.010391107	0.005970024	43%
680304.4	9208908.72	0.010230728	0.005873294	43%
680307.7	9208908.72	0.010065883	0.005891494	41%
680311	9208908.72	0.009897451	0.005940521	40%
680314.3	9208908.72	0.009726257	0.005964561	39%
680317.6	9208908.72	0.009553093	0.005052837	47%
680321	9208908.72	0.009378727	0.007107564	24%
680324.3	9208908.72	0.009297303	0.006159892	34%
680327.6	9208908.72	0.009219538	0.006209581	33%
680330.9	9208908.72	0.009142826	0.006256594	32%
680334.2	9208908.72	0.009067914	0.007300987	19%
680337.5	9208908.72	0.008926386	0.004881563	45%

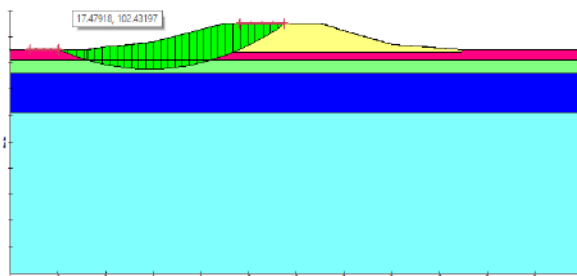
LAMPIRAN 4

Eksisting tanpa gempa

Profile 1

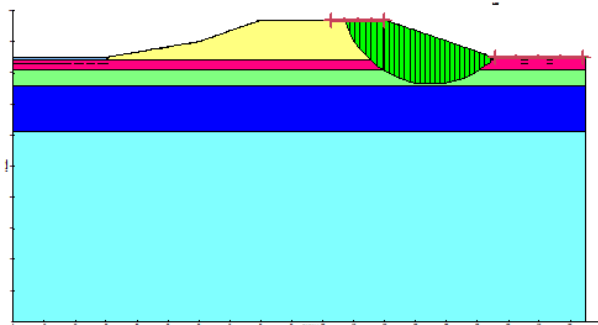


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	5.556
Total Volume	749.89 m ³
Total Weight	8,339.2 kN
Total Resisting Moment	83,752 kN-m
Total Activating Moment	15,075 kN-m

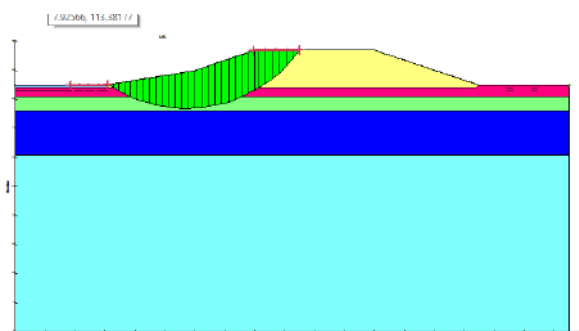


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	5.917
Total Volume	773.35 m ³
Total Weight	6,759.1 kN
	1.541e+005
Total Resisting Moment	kN-m
Total Activating Moment	26,042 kN-m

Profile 2

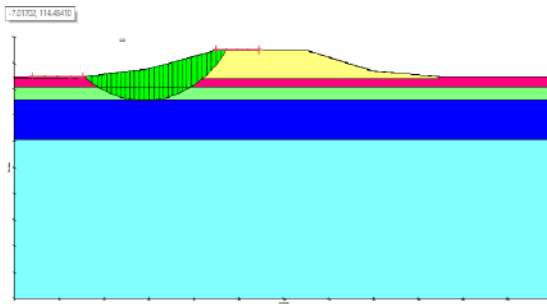


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	3.033
Total Volume	572.27 m ³
Total Weight	4,691.1 kN
Total Resisting Moment	27,474 kN-m
Total Activating Moment	9,059.3 kN-m

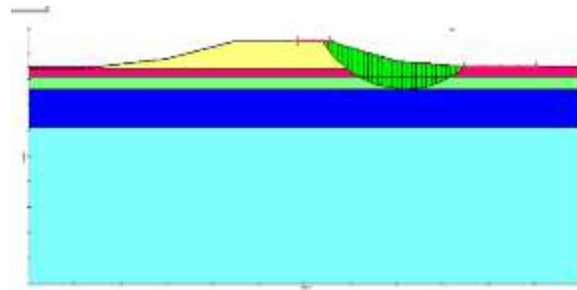


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	3.367
Total Volume	642.03 m ³
Total Weight	5,256 kN
Total Resisting Moment	52,505 kN-m
Total Activating Moment	15,593 kN-m

Profile 3

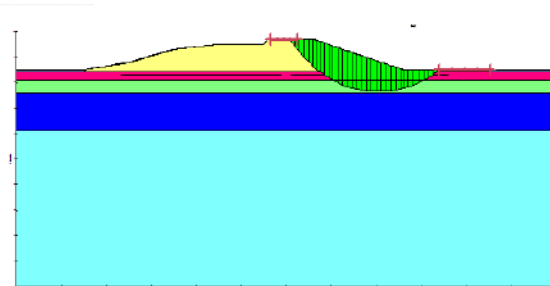


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	5.142
Total Volume	583.16 m ³
Total Weight	5,941.1 kN
Total Resisting Moment	56,521 kN-m
Total Activating Moment	10,992 kN-m

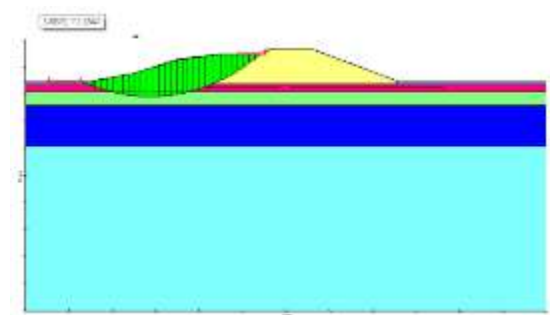


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	5.088
Total Volume	509.78 m ³
Total Weight	5,398.6 kN
Total Resisting Moment	48,561 kN-m
Total Activating Moment	9,544.7 kN-m

Profile 4

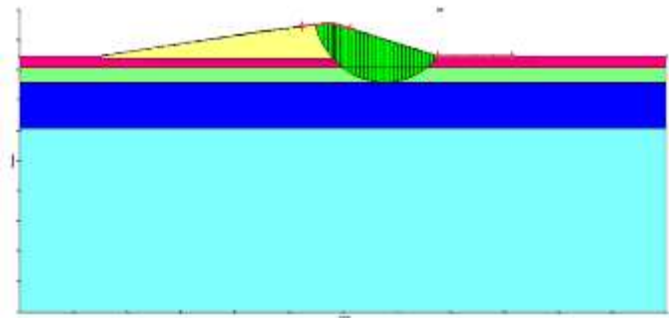


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	4.174
Total Volume	613.93 m ³
Total Weight	5,839.6 kN
Total Resisting Moment	58,081 kN-m
Total Activating Moment	13,914 kN-m

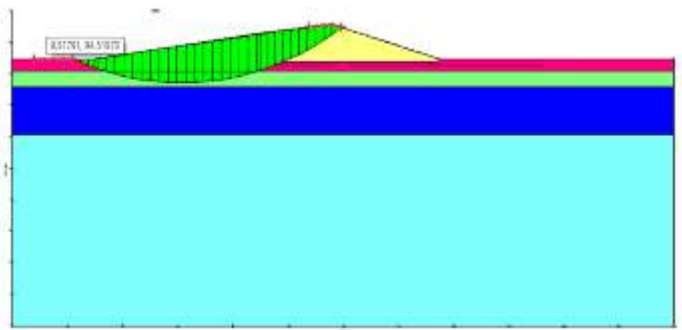


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	5.533
Total Volume	655.12 m ³
Total Weight	4,541.6 kN
Total Resisting Moment	1.254e+005 kN-m
Total Activating Moment	22,664 kN-m

Profile 5



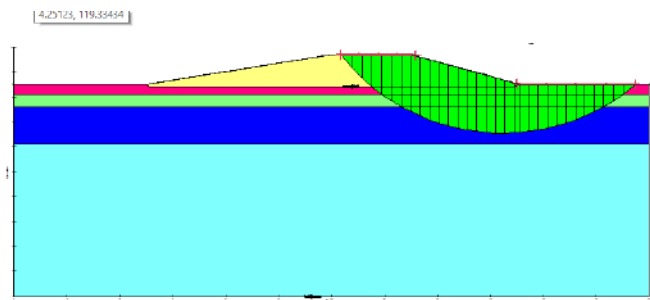
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	3.583
Total Volume	501.17 m ³
Total Weight	4,506.7 kN
Total Resisting Moment	24,354 kN-m
Total Activating Moment	6,797.2 kN-m



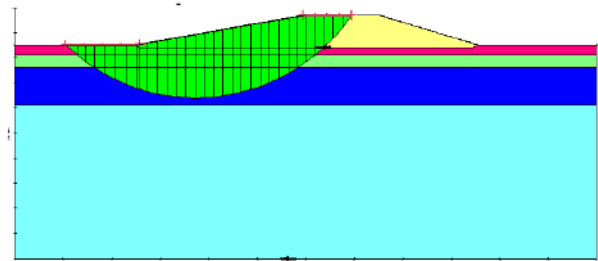
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	6.352
Total Volume	839.78 m ³
Total Weight	7,329.5 kN
Total Resisting Moment	1.7044e+005 kN-m
Total Activating Moment	26,832 kN-m

Eksisting dengan gempa 0.2g

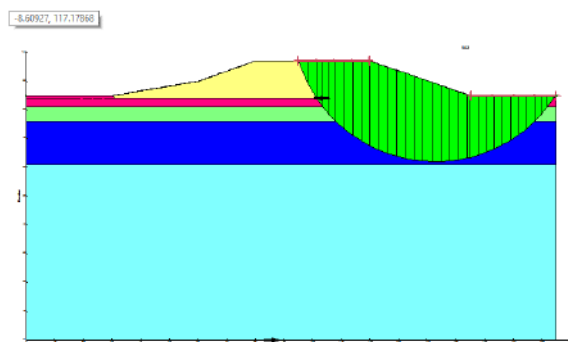
Profile 1



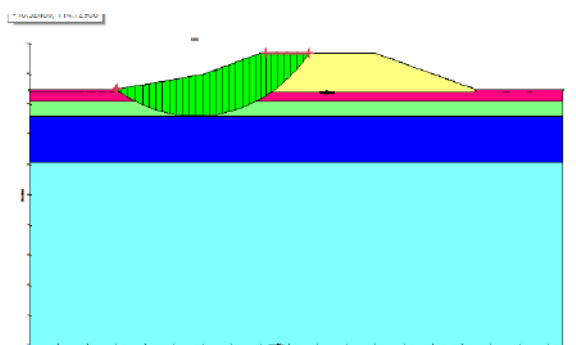
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.862
Total Volume	1,844.6 m ³
Total Weight	24,990 kN
Total Resisting Moment	2.3112e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.6814e+005 kN-m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.892
Total Volume	1,936.6 m ³
Total Weight	26,091 kN
Total Resisting Moment	1.4431e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.6176e+005 kN-m

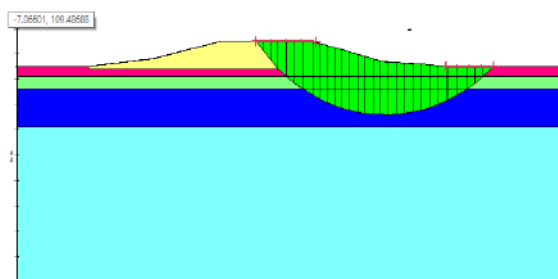


Method	Bishop
Factor of Safety	0.57
Total Volume	1,844 m ³
Total Weight	25,531 kN
Total Resisting Moment	1.3975e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.4525e+005 kN-m

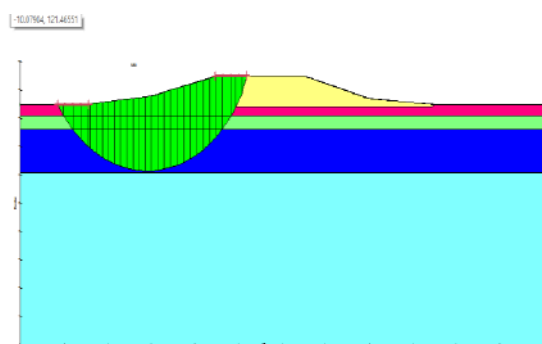


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.682
Total Volume	714.33 m ³
Total Weight	6,127 kN
Total Resisting Moment	56,007 kN-m
Total Activating Moment	82,114 kN-m

Profile 3

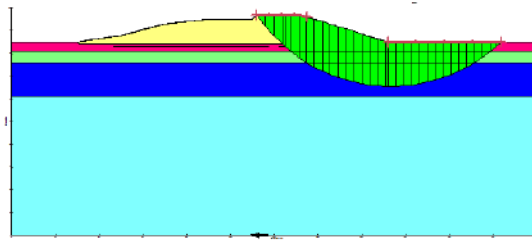


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.905
Total Volume	1,674.4 m ³
Total Weight	22,934 kN
Total Resisting Moment	2.0308e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.2437e+005 kN-m

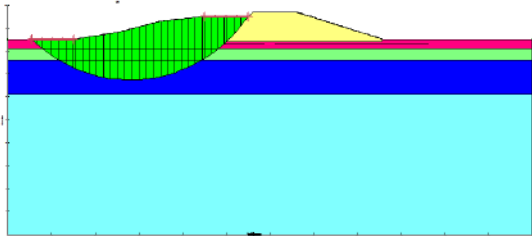


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.943
Total Volume	1,723.3 m ³
Total Weight	24,993 kN
Total Resisting Moment	1.3236e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.4037e+005 kN-m

Profile 4

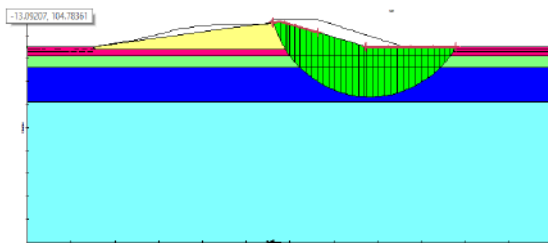


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.873
Total Volume	1,780.3 m ³
Total Weight	25,179 kN
Total Resisting Moment	2.3394e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.68e+005 kN-m

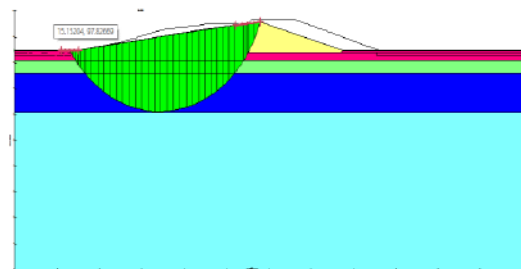


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.948
Total Volume	1,574.2 m ³
Total Weight	20,186 kN
Total Resisting Moment	1.7922e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.8915e+005 kN-m

Profile 5



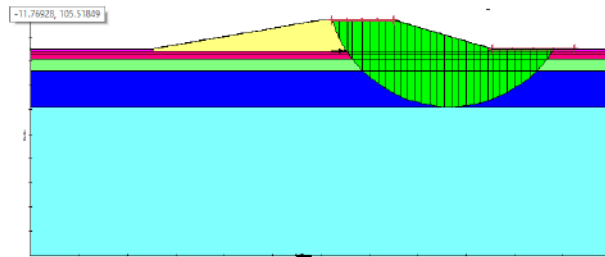
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.779
Total Volume	1,440.2 m ³
Total Weight	22,163 kN
Total Resisting Moment	1.2061e+005 kN-m



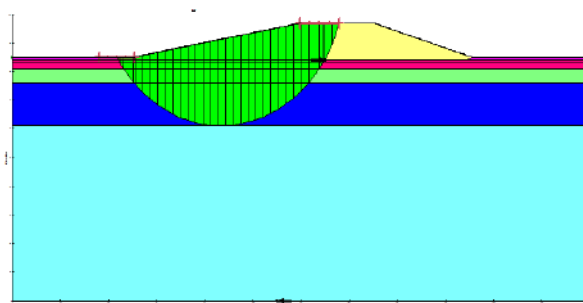
Total Activating Moment	1.5484e+005 kN-m
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.708
Total Volume	1,882.8 m ³
Total Weight	26,155 kN
Total Resisting Moment	1.4087e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.9887e+005 kN-m

Clay liner 1m sekitar timbunan dengan gempa 0.2g

Profile 1

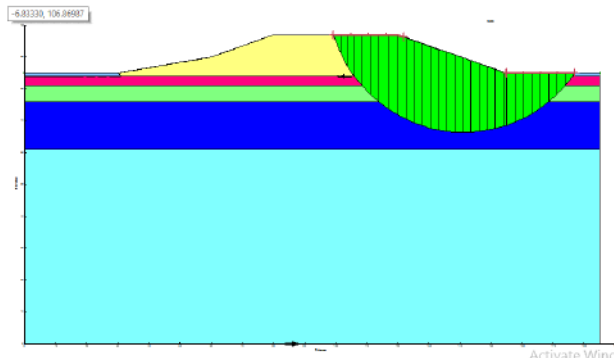


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.872
Total Volume	1,965.6 m ³
Total Weight	26,932 kN
Total Resisting Moment	1.4886e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.7063e+005 kN-m

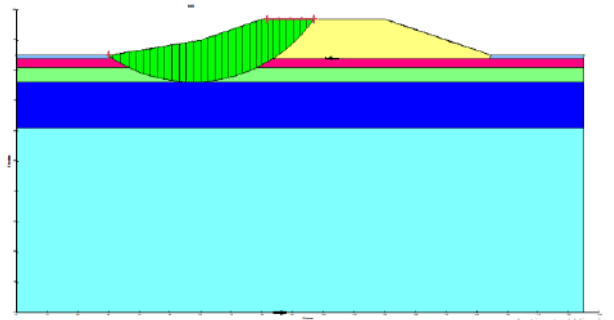


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.873
Total Volume	2,047.9 m ³
Total Weight	27,330 kN
Total Resisting Moment	1.5093e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.7282e+005 kN-m

Profile 2

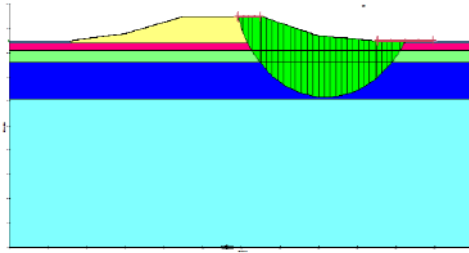


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.653
Total Volume	1,359.7 m ³
Total Weight	17,380 kN
Total Resisting Moment	1.0118e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.5492e+005 kN-m

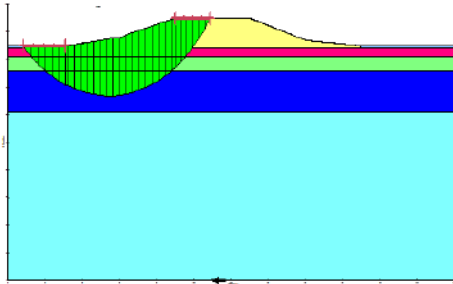


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.682
Total Volume	714.33 m ³
Total Weight	6,127 kN
Total Resisting Moment	56,007 kN-m
Total Activating Moment	82,114 kN-m

Profile 3

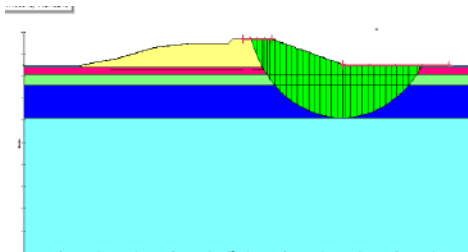


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.946
Total Volume	1,654.6 m ³
Total Weight	24,453 kN
Total Resisting Moment	1.3154e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.3903e+005 kN-m

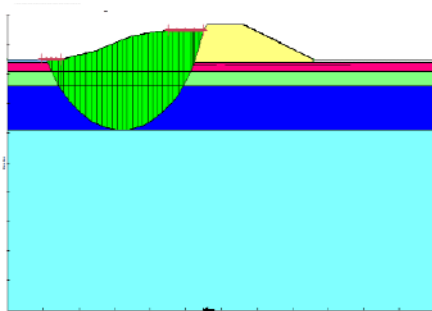


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.943
Total Volume	1,538.6 m ³
Total Weight	20,877 kN
Total Resisting Moment	1.8897e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.003e+005 kN-m

Profile 4

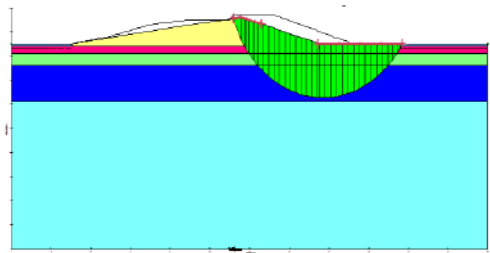


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.897
Total Volume	1,782.1 m ³
Total Weight	26,605 kN
Total Resisting Moment	1.4931e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.6645e+005 kN-m

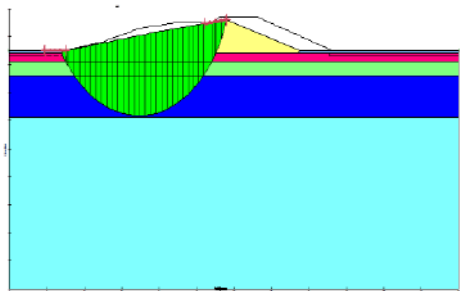


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.919
Total Volume	1,912.2 m ³
Total Weight	26,165 kN
Total Resisting Moment	1.3732e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.494e+005 kN-m

Profile 5



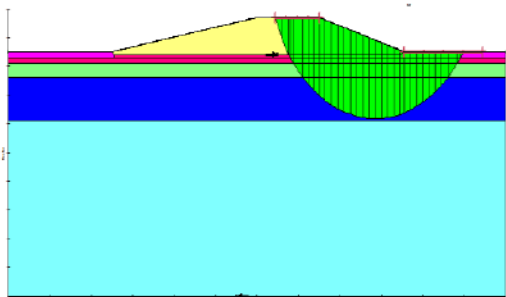
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.758
Total Volume	1,496.9 m ³
Total Weight	22,980 kN
Total Resisting Moment	1.2592e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.6602e+005 kN-m



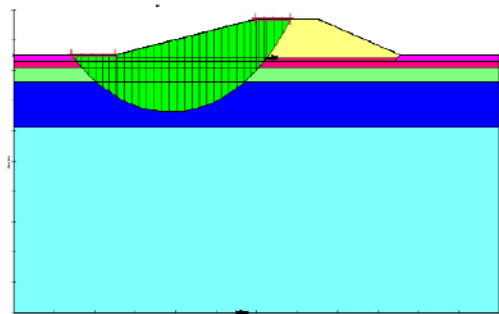
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.719
Total Volume	1,833.4 m ³
Total Weight	25,230 kN
Total Resisting Moment	1.3738e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.9095e+005 kN-m

Clay liner 2m sekitar timbunan dengangempa 0.2g

Profile 1

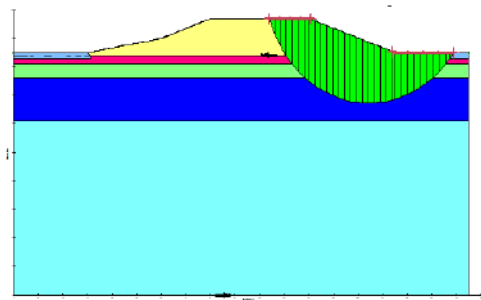


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.879
Total Volume	1,849.4 m ³
Total Weight	25,577 kN
Total Resisting Moment	1.4427e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.6421e+005 kN-m

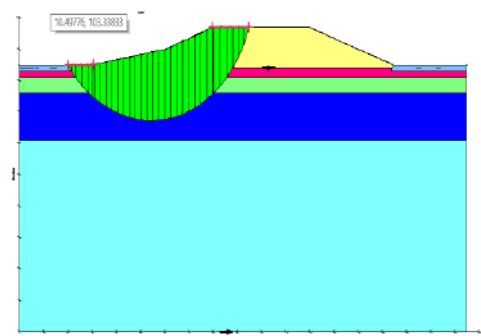


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.878
Total Volume	1,819 m ³
Total Weight	23,131 kN
Total Resisting Moment	2.2141e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.5224e+005 kN-m

Profile 2

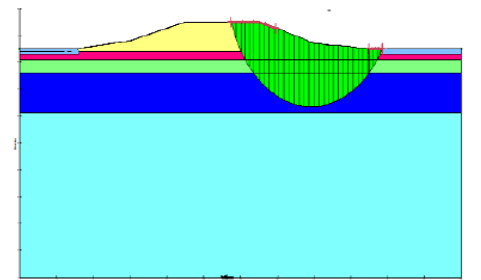


Parameter		
Method	Bishop	
Factor of Safety		0.673
Total Volume	1,226.5 m ³	
Total Weight	15,741 kN	
Total Resisting Moment	94,632 kN-m	
Total Activating Moment	1.4051e+005 kN-m	

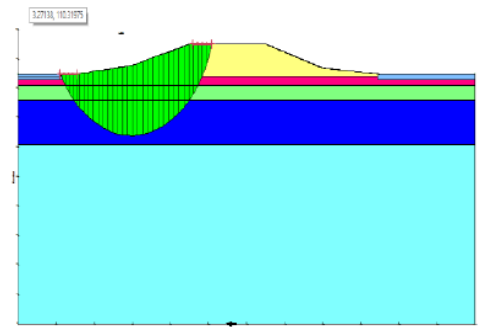


Parameter		
Method	Bishop	
Factor of Safety		0.677
Total Volume	1,248.2 m ³	
Total Weight	15,700 kN	
Total Resisting Moment	94,560 kN-m	
Total Activating Moment	1.3961e+005 kN-m	

Profile 3

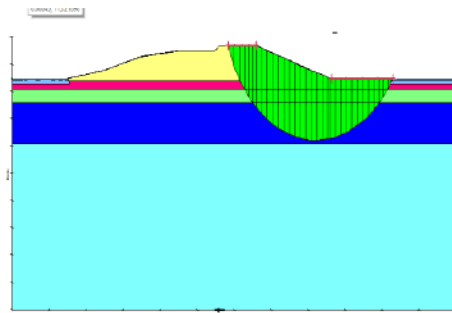


Parameter		
Method	Bishop	
Factor of Safety		0.971
Total Volume	1,521.9 m ³	
Total Weight	21,472 kN	
Total Resisting Moment	1.178e+005 kN-m	
Total Activating Moment	1.2135e+005 kN-m	

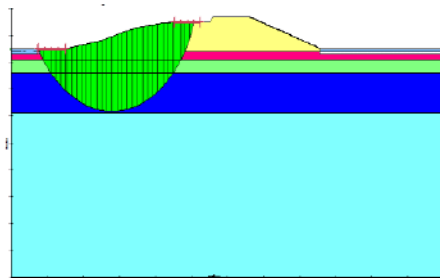


Parameter		
Method	Bishop	
Factor of Safety		1.003
Total Volume	1,450.6 m ³	
Total Weight	20,218 kN	
Total Resisting Moment	1.1161e+005 kN-m	
Total Activating Moment	1.1129e+005 kN-m	

Profile 4

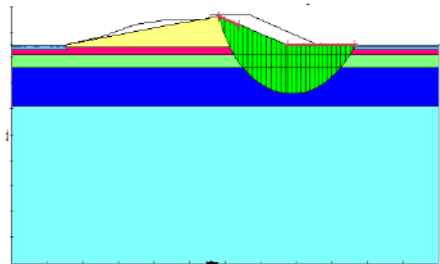


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.901
Total Volume	1,715.5 m ³
Total Weight	24,356 kN
Total Resisting Moment	1.3915e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.5447e+005 kN-m

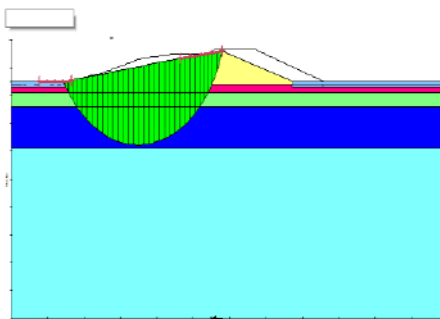


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.934
Total Volume	1,759.1 m ³
Total Weight	24,690 kN
Total Resisting Moment	1.3225e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.4163e+005 kN-m

Profile 5



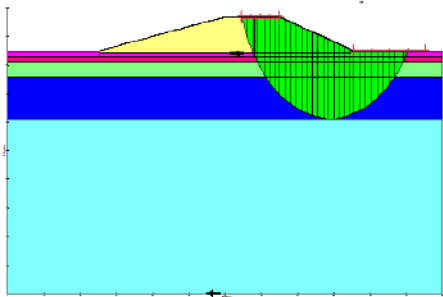
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.853
Total Volume	1,135.7 m ³
Total Weight	17,028 kN
Total Resisting Moment	99,680 kN-m
Total Activating Moment	1.1682e+005 kN-m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.733
Total Volume	1,783.6 m ³
Total Weight	24,309 kN
Total Resisting Moment	1.3384e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.8261e+005 kN-m

Clay liner 2m sekitar timbunan dengan gempa 0.2g

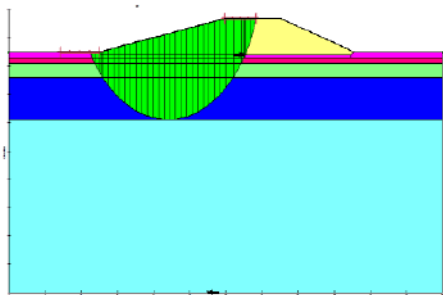
Profile 1



Parameter

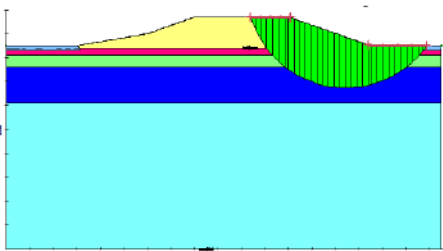
Method	Bishop
Factor of Safety	0.898
Total Volume	1,900.4 m ³
Total Weight	26,331 kN
Total Resisting Moment	1.5005e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.6715e+005 kN-m

Profile 2



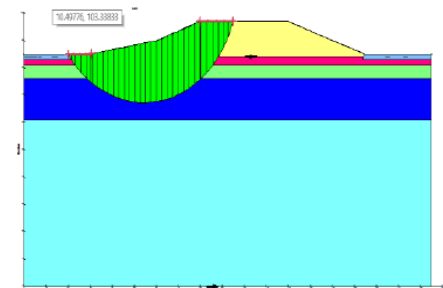
Parameter

Method	Bishop
Factor of Safety	0.898
Total Volume	2,050.2 m ³
Total Weight	26,848 kN
Total Resisting Moment	1.5199e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.6925e+005 kN-m



Method

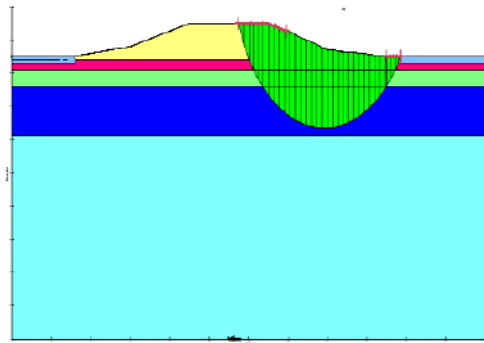
Method	Bishop
Factor of Safety	0.725
Total Volume	1,441.8 m ³
Total Weight	19,696 kN
Total Resisting Moment	86,005 kN-m
Total Activating Moment	1.1859e+005 kN-m



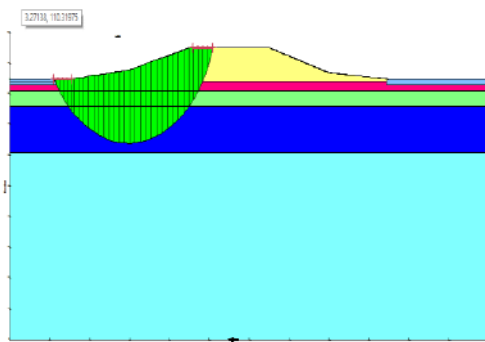
Parameter

Method	Bishop
Factor of Safety	0.75
Total Volume	1,226.5 m ³
Total Weight	15,741 kN
Total Resisting Moment	94,632 kN-m
Total Activating Moment	1.4051e+005 kN-m

Profile 3

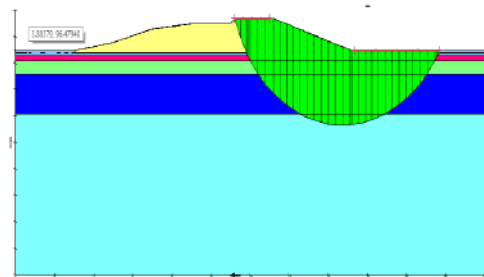


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	1.082
Total Volume	1,267.9 m ³
Total Weight	17,640 kN
Total Resisting Moment	1.0179e+005 kN-m
Total Activating Moment	94,059 kN-m

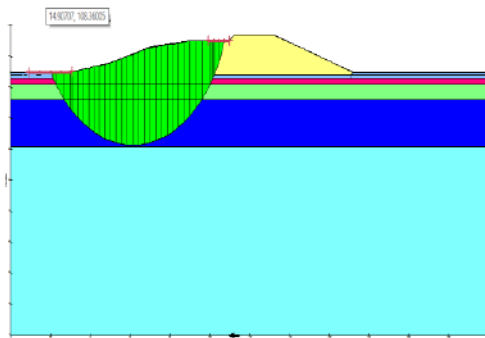


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	1.093
Total Volume	1,265.1 m ³
Total Weight	16,917 kN
Total Resisting Moment	97,553 kN-m
Total Activating Moment	89,290 kN-m

Profile 4

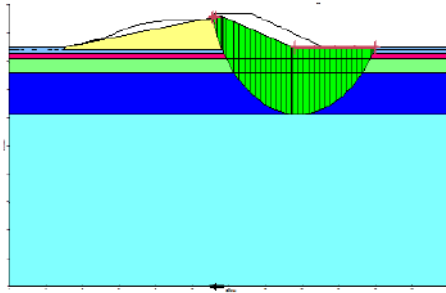


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.925
Total Volume	2,435.8 m ³
Total Weight	36,379 kN
Total Resisting Moment	2.3098e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.4966e+005 kN-m

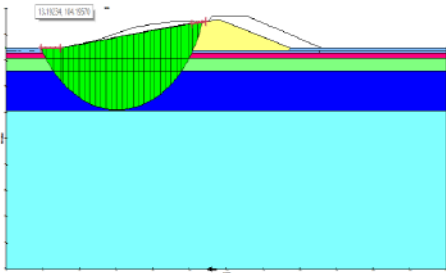


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.949
Total Volume	1,851.4 m ³
Total Weight	25,165 kN
Total Resisting Moment	1.3608e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.4334e+005 kN-m

Profile 5



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.742
Total Volume	1,656.2 m ³
Total Weight	25,427 kN
Total Resisting Moment	1.4061e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.8949e+005 kN-m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.745
Total Volume	1,782.7 m ³
Total Weight	25,438 kN
Total Resisting Moment	1.3819e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.8548e+005 kN-m

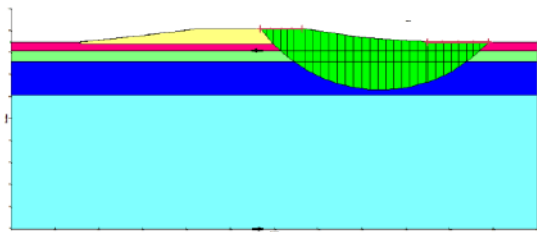
REKAP HASIL SF GEOSLOPE TERHADAP SETAIP PEMODELAN CLAY LINER

SF profil					
KONDISI	1	2	3	4	5
eksisting	0.86	0.57	0.91	0.82	0.71
1	0.87	0.65	0.94	0.86	0.72
2	0.88	0.67	0.97	0.87	0.73
EPA	0.90	0.73	1.08	0.93	0.74

Output Nilai SF dinamis Geoslope dengan berbagai variasi ketinggian

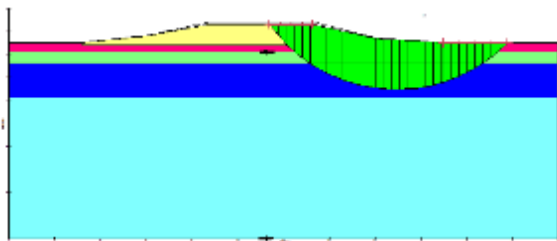
Profil 1

10m



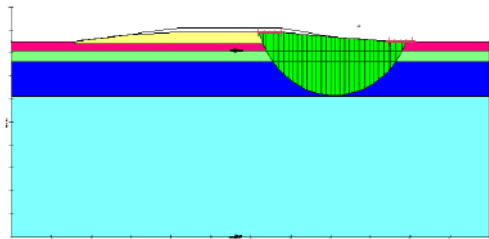
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.8909
Total Volume	1,723.9 m ³
Total Weight	26,671 kN
Total Resisting Moment	2.0473e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.2274e+005 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

8m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.925
Total Volume	1,648 m ³
Total Weight	24,525 kN
Total Resisting Moment	2.0212e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.1845e+005 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

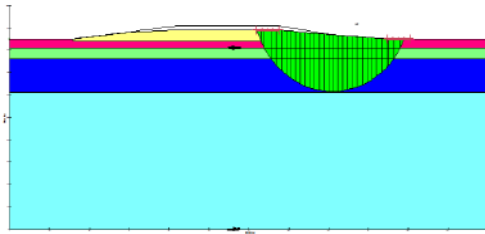
6m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.99
Total Volume	1,369.6 m ³
Total Weight	21,861 kN
Total Resisting Moment	98,489 kN-m
Total Activating Moment	85,244 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

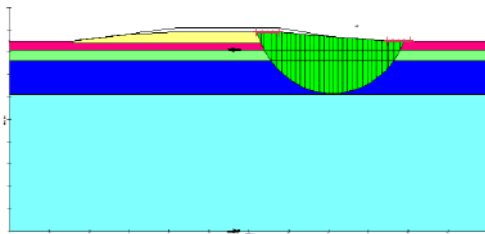
4m

Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	1.097
Total Volume	1,369.6 m ³
Total Weight	21,861 kN



Total Resisting Moment	98,489 kN-m
Total Activating Moment	85,244 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

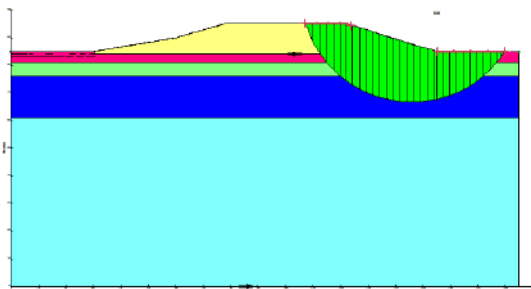
2m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	1.205
Total Volume	1,369.6 m ³
Total Weight	21,861 kN
Total Resisting Moment	98,489 kN-m
Total Activating Moment	85,244 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

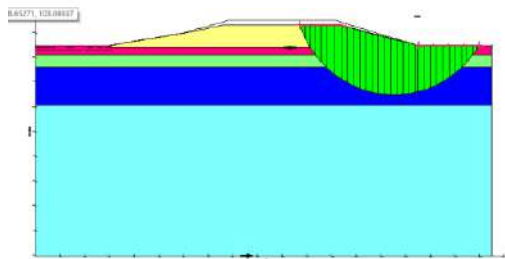
Profil 2

10m



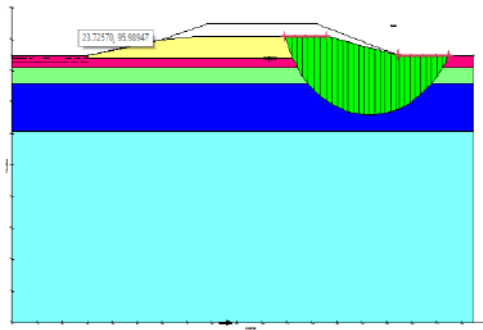
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.655
Total Volume	1,169.2 m ³
Total Weight	16,136 kN
Total Resisting Moment	88,150 kN-m
Total Activating Moment	1.3459e+005 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

8m



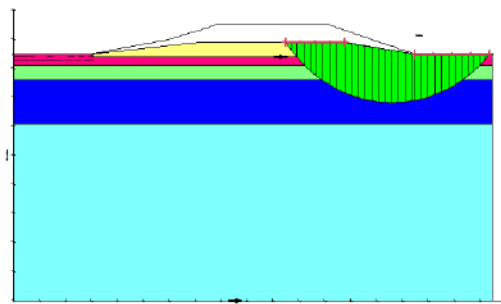
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.708
Total Volume	1,217.8 m ³
Total Weight	17,744 kN
Total Resisting Moment	90,014 kN-m
Total Activating Moment	1.2707e+005 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

6m



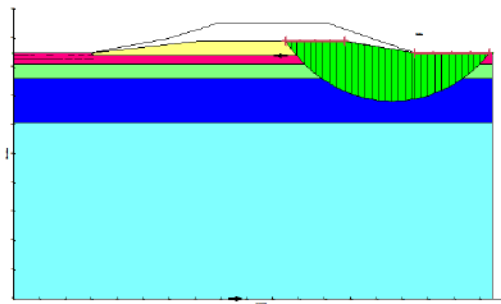
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.82
Total Volume	1,032.5 m ³
Total Weight	15,351 kN
Total Resisting Moment	73,582 kN-m
Total Activating Moment	93,490 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

4m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	1.097
Total Volume	1,017.7 m ³
Total Weight	15,569 kN
Total Resisting Moment	1.1231e+005 kN-m
Total Activating Moment	1.3684e+005 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

2m

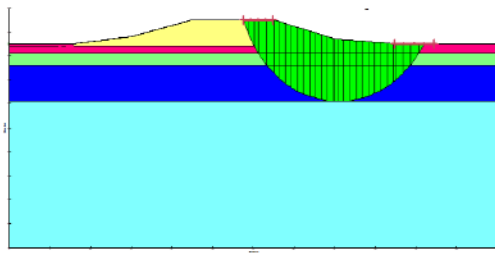


Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	1.012
Total Volume	1,217.8 m ³
Total Weight	17,744 kN
Total Resisting Moment	90,014 kN-m
Total Activating Moment	1.2707e+005 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

Profil 3

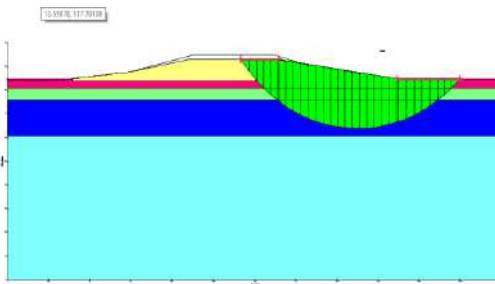
8m

Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.944
Total Volume	1,769.3 m ³
Total Weight	26,169 kN
Total Resisting Moment	1.4134e+005 kN-m



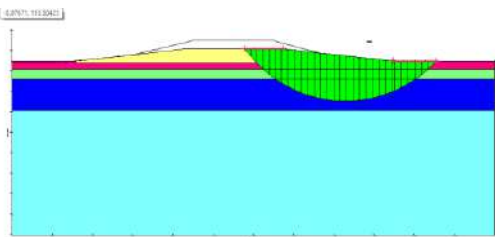
Total Activating Moment 1.4972e+005 kN-m
 Total Resisting Force
 Total Activating Force

6m



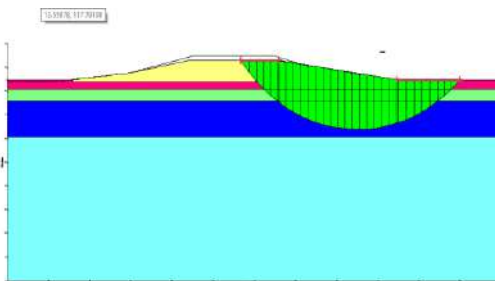
Parameter
 Method Bishop
 Factor of Safety 1.01099
 Total Volume 1,788.6 m³
 Total Weight 26,107 kN
 Total Resisting Moment 2.1265e+005 kN-m
 Total Activating Moment 2.6617e+005 kN-m
 Total Resisting Force
 Total Activating Force

4m



Parameter
 Method Bishop
 Factor of Safety 1.091
 Total Volume 1,480.9 m³
 Total Weight 21,840 kN
 Total Resisting Moment 1.6891e+005 kN-m
 Total Activating Moment 1.9176e+005 kN-m

2m

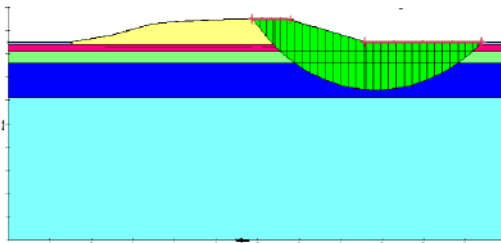


Parameter
 Method Bishop
 Factor of Safety 1.1881
 Total Volume 1,217.8 m³
 Total Weight 17,744 kN
 Total Resisting Moment 90,014 kN-m
 Total Activating Moment 1.2707e+005 kN-m

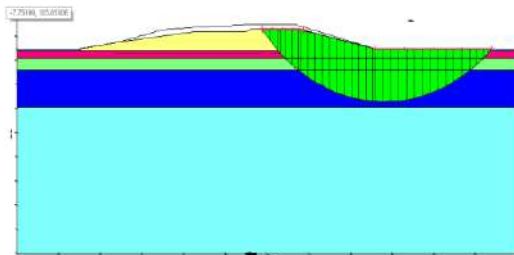
Profil 4

8m

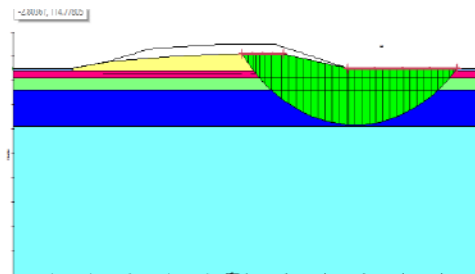
Total Resisting Force
 Total Activating Force
 Parameter
 Method Bishop
 Factor of Safety 0.883



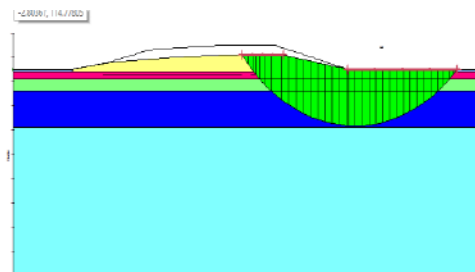
6m



4m



2m



Profil 5

Total Volume	1,738.5 m ³
Total Weight	25,946 kN
Total Resisting Moment	2.2908e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.5951e+005 kN-m

Total Resisting Force	
Total Activating Force	
Parameter	

Method	Bishop
Factor of Safety	0.952

Total Volume	1,818.6 m ³
Total Weight	28,151 kN
Total Resisting Moment	2.3096e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.6508e+005 kN-m

Total Resisting Force	
Total Activating Force	
Parameter	

Method	Bishop
Factor of Safety	1.01071

Total Volume	1,896.8 m ³
Total Weight	30,440 kN
Total Resisting Moment	2.3315e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.6986e+005 kN-m

Total Resisting Force	
Total Activating Force	
Parameter	

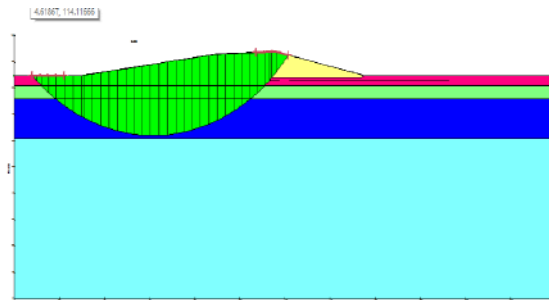
Method	Bishop
Factor of Safety	1.086

Total Volume	1,896.8 m ³
Total Weight	30,440 kN
Total Resisting Moment	2.3315e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.6986e+005 kN-m

Total Resisting Force	
Total Activating Force	
Parameter	

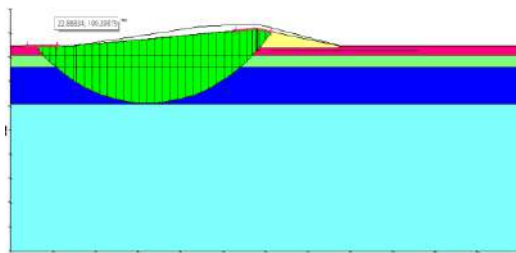
Method	Bishop
--------	--------

8m



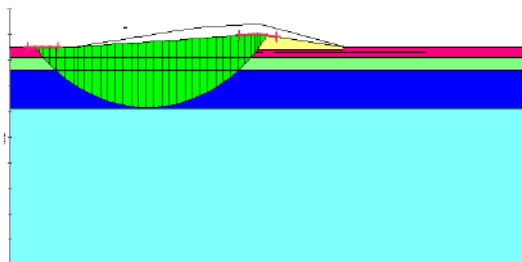
Factor of Safety	0.82
Total Volume	2,169.4 m ³
Total Weight	30,935 kN
Total Resisting Moment	2.4551e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.9935e+005 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

6m



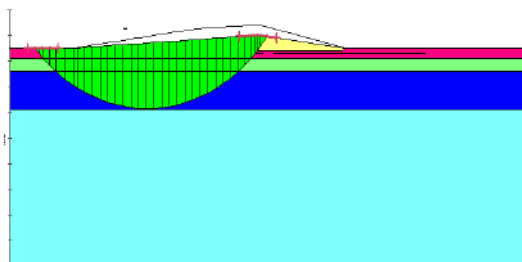
Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.88
Total Volume	2,069.6 m ³
Total Weight	31,424 kN
Total Resisting Moment	2.3688e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.8181e+005 kN-m
Total Resisting Force	
Total Activating Force	

4m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	0.997
Total Volume	1,915.9 m ³
Total Weight	30,321 kN
Total Resisting Moment	2.2188e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.5258e+005 kN-m

2m



Parameter	
Method	Bishop
Factor of Safety	1.01878
Total Volume	1,896.8 m ³
Total Weight	30,440 kN
Total Resisting Moment	2.3315e+005 kN-m
Total Activating Moment	2.6986e+005 kN-m

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Siti Nurlita Fitri, dilahirkan di Kelapa pada tanggal 21 Februari 1994, merupakan anak keempat dari empat bersaudara dari pasangan Nurdin, S.Pd dan Kasnetty, S.Sos.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Kasih Ayu Kelapa, Bangka Barat dan lulus pada tahun 1999, SDN 02 Kelapa, Bangka Barat dan lulus pada tahun 2005, SMPN 1 Kelapa, Bangka Barat dan lulus pada tahun 2008, serta SMAN 1 Kelapa, Bangka Barat dan lulus pada tahun 2011. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan Diploma Teknik Sipil UGM dan lulus pada tahun 2014 kemudian melanjutkan pendidikan Sarjana Lintas Jalur jurusan Teknik Sipil FTSP-ITS dan melanjutkan pendidikan Pascasarjana jurusan Teknik Sipil bidang studi geoteknik dengan beasiswa Fresh Graduated ITS.

Contact Person:

Email : nurlitafitri@gmail.com.